



Vzduchové tlumení sedadla řidiče

Dizertační práce

Studijní program: P2302 – Stroje a zařízení
Studijní obor: 2302V010 – Konstrukce strojů a zařízení
Autor práce: Ing. Ondřej Kohl
Vedoucí práce: prof. Ing. Lubomír Pešík, CSc.





Air Damping of Driver's Seat

Dissertation

Study programme: P2302 – Machines and Equipment
Study branch: 2302V010 – Machine and Equipment Design

Author: Ing. Ondřej Kohl
Supervisor: prof. Ing. Lubomír Pešík, CSc.



Prohlášení

Byl jsem seznámen s tím, že na mou dizertační práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. , o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé dizertační práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li dizertační práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Dizertační práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé dizertační práce a konzultantem.

Současně čestně prohlašuji, že tištěná verze práce se shoduje s elektronickou verzí, vloženou do IS STAG.

Datum:

Podpis:

Poděkování

Dizertační práce vznikla na základě poznatků, výpočtů, měření a konstrukční činnosti během mého prezenčního doktorského studia na Katedře částí a mechanismů strojů Fakulty strojní Technické univerzity v Liberci.

Rád bych na tomto místě poděkoval členům katedry a zejména pak panu školiteli, Prof. Ing. Lubomíru Pešíkovi, CSc., za podporu během studia, uvedení problematiky vibroizolace a za odbornou pomoc při vzniku této dizertační práce.

Dále chci poděkovat panu Ing. Aleši Lufinkovi, Ph.D. ze stejné katedry za odbornou pomoc při měření vibrací a zpracování naměřených dat a Ing. Antonínu Skarolkovi, Ph.D. z katedry mechaniky, pružnosti a pevnosti, který mi byl nápomocen zejména při matematických simulačních výpočtech.

Poděkování patří v neposlední řadě také mé manželce, dětem a rodičům za jejich podporu a trpělivost.

Dizertační práce vznikla za podpory projektu Studentské grantové soutěže pro rok 2017 na Fakultě strojní TU v Liberci s názvem: „Inovace výrobku a procesů v technické praxi“, podporované Ministerstvem školství, mládeže a tělovýchovy České republiky.

Anotace

KOHL, O. *Vzduchové tlumení sedadla řidiče*. Liberec: Katedra částí a mechanismů strojů, Fakulta strojní, Technická univerzita v Liberci, 2017. 93 stran. Dizertační práce, vedoucí: Prof. Ing. Lubomír PEŠÍK, CSc.

Dizertační práce se týká dynamického a konstrukčního řešení pružícího podstavce sedadla řidiče se vzduchovým tlumením, jehož princip vznikl v rámci spolupráce Technické univerzity v Liberci a firmy Grammer AG, Amberg (SRN). Součástí výsledků dizertační práce je rovněž funkční prototyp pružícího podstavce a soubory měření kinematických veličin kmitání sedadla řidiče získaných za účelem optimalizace jeho dynamických parametrů.

Tento systém nahrazuje v konstrukci pasivních pružících podstavců sedadel řidiče běžně používaný hydraulický teleskopický tlumič kmitů a vyznačuje se tím, že do vodícího mechanismu podstavce jsou zavěšeny alespoň dvě pneumatické pružiny, jejich silové účinky ve stavu statické rovnováhy působí navzájem proti sobě. Vzduchového tlumení se docílí pneumatickým spojením obou pružin přes vhodně nastavený škrťací prvek. V tom případě se silové účinky pneumatických pružin v oblasti rezonance navzájem fázově posunou obdobně, jako je tomu u obvyklého konstrukčního řešení pomocí hydraulického teleskopického tlumiče kmitů.

Účinek řešeného vzduchového tlumení je konfrontován se stávajícím řešením na základě amplitudových frekvenčních charakteristik výchylky a zrychlení, disipované energie, kvantifikačních ukazatelů hygienických norem atd.

Dynamické vlastnosti řešeného systému jsou identifikovány jak na základě výpočtů mechanických, tak i měření kinematických veličin kmitání v laboratorních podmínkách na vyrobeném funkčním vzorku.

Přednosti vzduchového tlumení se ukazují zejména v minimalizaci amplitud výchylek kmitů sedadla v rezonanční oblasti a odstranění nežádoucího tlumení mimo tuto oblast. Tato skutečnost se bezprostředně odráží ve zlepšení ukazatelů hygienických norem.

Klíčová slova

Sedadlo řidiče, vzduchové tlumení, vibrace, minimalizace vibrací

Annotation

KOHL, O. *Air Damping of Driver's Seat*. Liberec: Department of Machine Parts and Mechanisms, Faculty of Mechanical Engineering, Technical university of Liberec, 2017. 93 pages. PhD. thesis, supervisor: Prof. Ing. Lubomír PEŠÍK, CSc.

PhD. thesis is related to dynamic a construction solution of the springing support driver's seat with air damping its principle was established within the framework of the cooperation between the Technical University of Liberec and Grammer AG, Amberg (Germany). Part of the dissertation is also a functional prototype of the spring base and kinematic measurements of the oscillation of the driver's seat obtained in order to optimize its dynamic parameters.

This system is replaced for the usually used hydraulic damper in passive springing support construction. It is characterized by that in the guide mechanism of the support are included minimally two air springs. Their force effects in static balance condition acts against each other. Air damping occurs when the pneumatic connection of both springs through the right adjusted throttling element. In this case the force acts of air springs in the resonance area are one to another phase shifted - similar to construction which is using usual hydraulic telescopic damper of oscillations.

Air damping effect is confronted with the current solution based on amplitude-frequency characteristics of displacement and acceleration, energy dissipation, quantitation index of health and safety standards, etc.

The dynamic properties of the solved system are identified based on both mechanical calculations and also the measuring of kinematic variables of oscillation in laboratory conditions on the made function sample.

The advantages of air damping shows especially in amplitude minimization of displacement oscillation in the resonance area and the elimination of undesirable damping outside of this area. This fact reflects immediately in improvement of health and safety standards index.

Keywords

Driver's seat, air damping, vibrations, minimization of vibration

Obsah

Seznam symbolů, zkratk a termínů	1
Seznam obrázků	3
1 Úvod	8
2 Cíl dizertační práce	9
3 Stávající pasivní vibroizolační systémy sedadel řidiče	10
3.1 Vodící mechanismy	11
3.1.1 Pákový mechanismus.....	11
3.1.2 Čtyřčlenným mechanismus s pivotou	12
3.1.3 Paralelogram	13
3.1.4 Nůžkový mechanismus	13
3.2 Pružící prvky	15
3.2.1 Pneumatické pružiny	15
3.2.2 Kovové pružiny	18
3.2.3 Pryžové pružiny	21
3.3 Tlumící prvky	22
3.3.1 Pasivní tlumiče.....	22
3.3.2 Semiaktivní tlumení.....	24
3.4 Regulační prvky	27
3.4.1 Regulátory statické výšky	27
3.4.2 Regulátory tuhosti.....	28
4 Tlumící systémy pružících podstavců sedadel řidiče	29
4.1 Tlumící systém s hydraulickým tlumičem kmitů	30
4.1.1 Mechanický model.....	30
4.1.2 Dynamický výpočet	31
4.1.2.1 Pohybové rovnice.....	31
4.1.2.2 Rotující vektory	34
4.2 Tlumící systém se vzduchovým tlumením	37
4.2.1 Mechanický model.....	37
4.2.2 Dynamický výpočet	38
4.2.2.1 Pohybové rovnice.....	38

4.2.2.2 Rotující vektory	40
4.2.3 Numerický výpočet a komparace systémů	42
4.2.3.1 Amplitudové a fázové frekvenční charakteristiky výchylky	42
4.2.3.2 Amplitudové frekvenční charakteristiky zrychlení	45
4.2.3.3 Součinitel mezních hodnot expozic sedícího člověka vibracím	47
4.2.3.4 Energie disipovaná tlumícím systémem	49
5 Konstrukce prototypu sedadla se vzduchovým tlumením	54
5.1 Vodicí mechanismus	54
5.1.1 Mechanismus s regulační pružinou mezi rameny	55
5.1.2 Mechanismus s regulační pružinou uvnitř mechanismu	55
5.1.3 Mechanismus s dvojicí regulačních pružin uvnitř mechanismu	56
5.2 Pneumatický obvod	58
5.2.1 Prvky způsobující tlakovou ztrátu	59
5.2.2 Pneumatické pružící prvky	59
5.2.2.1 Měření parametrů pneumatických pružin	59
5.2.3 Převod mechanické soustavy	63
6 Měření kinematických veličin na prototypu sedadla se vzduchovým tlumením.....	64
7 Závěr.....	76
7.1 Splnění cílů práce	77
7.2 Zhodnocení původních výsledků pro vědní obor a praxi	77
7.3 Doporučení pro pokračování práce v daném tématu.....	78
Seznam příloh	79
Seznam použité literatury.....	80
Seznam publikovaných prací	84

Seznam symbolů, zkratk a termínů

m	celková hmotnost odpružené části sedadla a hmotnost řidiče	[kg]
m_{v1}	hmotnost vzduchu v nosné pneumatické pružině	[kg]
m_{v2}	hmotnost vzduchu v regulační pneumatické pružině	[kg]
m_{v0}	celková hmotnost vzduchu v pneumatických pružinách	[kg]
F_1, F_2	síly pružin	[N]
F_{vd1}	dynamická vratná síla od pneumatické pružiny	[N]
F_{vd2}	dynamická vratná síla od tlumiče	[N]
F_{p1}	dynamická složka vratné síly od nosné pneumatické pružiny	[N]
F_{p2}	dynamická složka vratné síly od regulační pneumatické pružiny	[N]
u	výchylka buzení	[mm]
x	výchylka odpružené části sedadla	[mm]
x_s	relativní výchylka odpružené části sedadla	[mm]
x_{p1}	osová deformace nosné pneumatické pružiny	[mm]
x_{p2}	osová deformace regulační pneumatické pružiny	[mm]
\dot{u}	rychlost buzení	[m · s ⁻¹]
\dot{x}	rychlost odpružené části sedadla	[m · s ⁻¹]
$\ddot{u} ; a_u$	zrychlení buzení	[m · s ⁻²]
$\ddot{x} ; a_x$	zrychlení odpružené části sedadla	[m · s ⁻²]
k	součinitel tuhosti pružícího podstavce	[N · m ⁻¹]
k_{p1}	součinitel tuhosti pneumatické pružiny	[N · m ⁻¹]
b	součinitel tlumení pružícího podstavce	[N · m ⁻¹ · s]
b_{krit}	kritický součinitel tlumení pružícího podstavce	[N · m ⁻¹ · s]
b_{rel}	relativní součinitel tlumení pružícího podstavce	[N · m ⁻¹ · s]
b_{t2}	součinitel tlumení hydraulického tlumiče	[N · m ⁻¹ · s]
t	čas	[s]
τ	čas	[s]
T_C	perioda	[s]
β	fázový úhel výchylky buzení vůči budící síle	[°]
φ	fázový úhel výchylky odpružené části vůči výchylce buzení	[°]
ψ	fázový úhel výchylky odpružené části vůči budící síle	[°]
A_v	průřez škrtícího ventilu	[mm ²]
S_1	efektivní plocha nosné pneumatické pružiny	[mm ²]

S_2	efektivní plocha regulační pneumatické pružiny	[mm ²]
V_1	objem nosné pneumatické pružiny	[mm ³]
V_2	objem regulační pneumatické pružiny	[mm ³]
p_1	absolutní tlak uvnitř nosné pneumatické pružiny	[Pa]
p_2	absolutní tlak uvnitř regulační pneumatické pružiny	[Pa]
p_a	atmosférický tlak	[Pa]
p_A	větší z přetlaků uvnitř pneumatických pružin (p_{p1}, p_{p2})	[Pa]
p_B	menší z přetlaků uvnitř pneumatických pružin (p_{p1}, p_{p2})	[Pa]
p_{p1}	přetlak uvnitř nosné pneumatické pružiny	[Pa]
p_{p2}	přetlak uvnitř regulační pneumatické pružiny	[Pa]
DE	disipativní energie	[N·m]
DTE	disipativní tlaková energie	[N·m]
Ω	vlastní frekvence podstavce	[Hz]
f	frekvence	[Hz]
ω	úhlová rychlost	[rad·s ⁻¹]
r	měrná plynová konstanta	[J · kg ⁻¹ K ⁻¹]
A	práce, resp. disipativní energie	[J]
T	termodynamická teplota	[K]
K	součinitel mezních hodnot expozic sedícího člověka vibracím	[-]
i_1	silový převod nosné pružiny vůči relativnímu pohybu sedadla	[-]
i_2	silový převod tlumiče vůči relativnímu pohybu sedadla	[-]
c	ztrátový součinitel průtoku	[-]
κ	Poissonova konstanta	[-]
β^*	kritický tlakový poměr	[-]

Seznam obrázků

Obr. 1	Sedadlo řidiče s pasivním vibroizolačním systémem.....	10
Obr. 2	Mechanismy pružících podstavců sedadel (zleva pivota, paralelogram, nůžkový, čtyřčlenný, dvojité kulisový, lineární).....	10
Obr. 3	Pružící podstavce sedadel řidiče využívající jednoduchý pákový mechanismus.....	12
Obr. 4	Pružící podstavce sedadla řidiče s pivotou: 1 - mechanicky odpružené sedadlo Granit, 2 - patent US3442552.....	12
Obr. 5	Pružící podstavce sedadla řidiče využívající čtyřkloubový mechanismus – paralelogram: 1 - patent US2985227; 2 - patent US3335993; 3 - patent US3339906.....	13
Obr. 6	Pružící podstavce sedadel řidiče využívající nůžkový mechanismus.....	14
Obr. 7	Vlnovcová pneumatická pružina.....	16
Obr. 8	Tlačná vaková pneumatická pružina.....	16
Obr. 9	Hadicová pneumatická pružina.....	16
Obr. 10	Membránová pneumatická pružina.....	17
Obr. 11	Tlačná válcová šroubovitě vinutá pružina.....	18
Obr. 12	Tažná válcová šroubovitě vinutá pružina.....	18
Obr. 13	Tlačná vinutá kuželová pružina.....	19
Obr. 14	Válcová šroubovitě vinutá pružina zkrutná.....	19
Obr. 15	Torzní tyč.....	20
Obr. 16	Listová pružina.....	20
Obr. 17	Desková pružina.....	21
Obr. 18	Objímková pružina.....	21
Obr. 19	Schéma nízkotlakého dvouplášťového tlumiče.....	22
Obr. 20	Schéma vysokotlakého jednoplášťového tlumiče.....	23
Obr. 21	Nastavitelné jedno a dvouplášťové tlumiče: 1 - SEARS, 2 - SUSPA.....	23
Obr. 22	Schéma PSD tlumiče.....	24
Obr. 23	Schéma DCD tlumiče.....	24
Obr. 24	Schéma elektronicky řízeného CDC tlumiče.....	25
Obr. 25	Schéma MR tlumiče.....	25
Obr. 26	Schéma ABC tlumiče.....	26
Obr. 27	Tlumič BOSE.....	26
Obr. 28	Pneumatické ventily regulace statické výšky.....	27
Obr. 29	John Deere Active Seat.....	28

Obr. 30	Pružící podstavec s hydraulickým tlumičem kmitů.....	30
Obr. 31	Dynamické síly pružícího podstavce s hydraulickým tlumičem kmitů na sedadlo s řidičem.....	31
Obr. 32	Síly působící na sedadlo s řidičem u pružícího podstavce s hydraulickým tlumením.....	34
Obr. 33	Rotující vektory silové rovnováhy kmitající soustavy sedadla řidiče s hydraulickým tlumením při fázovém posunutí $\varphi < \pi/2$ a $\psi < \pi/2$	35
Obr. 34	Rotující vektory silové rovnováhy kmitající soustavy sedadla řidiče s hydraulickým tlumením při fázovém posunutí $\varphi \cong \pi/2$ a $\psi > \pi/2$	35
Obr. 35	Rotující vektory silové rovnováhy kmitající soustavy sedadla řidiče s hydraulickým tlumením při fázovém posunutí $\varphi > \pi/2$ a $\psi > \pi/2$	36
Obr. 36	Rotující vektory silové rovnováhy kmitající soustavy sedadla řidiče s hydraulickým tlumením při zavedení relativní výchylky x_S	36
Obr. 37	Podstata pružícího podstavce sedadla řidiče se vzduchovým tlumením.....	37
Obr. 38	Sílové poměry pružícího podstavce sedadla řidiče se vzduchovým tlumením...	37
Obr. 39	Rotující vektory silové rovnováhy kmitající soustavy sedadla řidiče se vzduchovým tlumením při budící frekvenci $f = 1$ Hz.....	40
Obr. 40	Rotující vektory silové rovnováhy kmitající soustavy sedadla řidiče se vzduchovým tlumením při budící frekvenci $f = 2$ Hz.....	40
Obr. 41	Rotující vektory silové rovnováhy kmitající soustavy sedadla řidiče se vzduchovým tlumením při budící frekvenci $f = 4$ Hz.....	41
Obr. 42	Amplitudová frekvenční charakteristika výchylky pružícího podstavce s hydraulickým tlumením	43
Obr. 43	Fázová frekvenční charakteristika výchylky pružícího podstavce s hydraulickým tlumením.....	43
Obr. 44	Amplitudová frekvenční charakteristika výchylky pružícího podstavce se vzduchovým tlumením.....	44
Obr. 45	Fázová frekvenční charakteristika výchylky pružícího podstavce se vzduchovým tlumením.....	44
Obr. 46	Amplitudová frekvenční charakteristika zrychlení pružícího podstavce s hydraulickým tlumením.....	45
Obr. 47	Amplitudová frekvenční charakteristika zrychlení pružícího podstavce se vzduchovým tlumením.....	46
Obr. 48	Součinitel K zrychlení pružícího podstavce s hydraulickým tlumením.....	47
Obr. 49	Součinitel K zrychlení pružícího podstavce s hydraulickým tlumením.....	48
Obr. 50	Součinitel K pružícího podstavce se vzduchovým tlumením.....	49
Obr. 51	Závislosti vratných dynamických sil F_{vd1} a F_{vd2} na změně x_S výšky pružícího podstavce sedadla s hydraulickým tlumením.....	49
Obr. 52	Disipovaná energie pružícího podstavce s hydraulickým tlumením.....	50

Obr. 53	Časové průběhy tlaků p_1 a p_2 v pneumatických pružinách.....	50
Obr. 54	Závislosti vratných dynamických sil F_{vd1} a F_{vd2} na změně x_S výšky pružícího podstavce sedadla se vzduchovým tlumením.....	51
Obr. 55	Disipovaná energie pružícího podstavce se vzduchovým tlumením.....	51
Obr. 56	Podíl termodynamických ztrát stlačeného vzduchu na disipované energii pružícího podstavce se vzduchovým tlumením.....	52
Obr. 57	Podíl termodynamických ztrát stlačeného vzduchu pružiny 1 na disipované energii pružícího podstavce se vzduchovým tlumením.....	52
Obr. 58	Podíl termodynamických ztrát stlačeného vzduchu pružiny 2 na disipované energii pružícího podstavce se vzduchovým tlumením.....	53
Obr. 59	Sériově vyráběný podstavec pneumaticky odpruženého sedadla řidiče firmy Grammer ve výchozí podobě před modifikací.....	54
Obr. 60	Sériově vyráběný podstavec pneumaticky odpruženého sedadla řidiče firmy Grammer s horizontálně umístěnou regulační pružinou mezi rameny nůžkového mechanismu nad nosnou pružinou.....	55
Obr. 61	Sériově vyráběný podstavec pneumaticky odpruženého sedadla řidiče firmy Grammer doplněný o horizontálně umístěnou regulační pružinu vedle nosné pružiny doplněn táhly k dosažení požadovaného mechanického převodu mezi pružinami.....	56
Obr. 62	Sériově vyráběný podstavec pneumaticky odpruženého sedadla řidiče firmy Grammer doplněný o pár horizontálně umístěných regulačních pružin vedle nosné pružiny a táhly k dosažení požadovaného mechanického převodu mezi pružinami.....	56
Obr. 63	Sériově vyráběný podstavec pneumaticky odpruženého sedadla řidiče firmy Grammer doplněný o pár horizontálně umístěných regulačních pružin vedle nosné pružiny a střídavě překříženými táhly k dosažení požadovaného mechanického převodu mezi pružinami kvazilineárním vedením.....	57
Obr. 64	Mechanické prvky a pružiny podstavce sedadla řidiče se vzduchovým tlumením přenosu vibrací doplňující sériově vyráběný podstavec.....	57
Obr. 65	Pneumatický obvod propojení nosné pružiny a tlumících pružin, je znázorněn přívod stlačeného vzduchu, místem „X“ je označen prvek, který ovlivňuje průtok mezi nosnou pružinou a regulačními pružinami.....	58
Obr. 66	Pneumatické prvky podstavce sedadla řidiče se vzduchovým tlumením přenosu vibrací s běžným škrtícím ventilem.....	58
Obr. 67	Obousměrný škrtící ventil výrobce PNEUMATICS typ NDV10.....	59
Obr. 68	Schéma měření charakteristiky pneumatické pružiny.....	60
Obr. 69	Zatěžovací charakteristika pneumatické pružiny Continental 818 ZA.....	61
Obr. 70	Efektivní plocha pneumatické pružiny Continental 818 ZA.....	61
Obr. 71	Zatěžovací charakteristika pneumatické pružiny Dunlop 2,75x2.....	62
Obr. 72	Efektivní plocha pneumatické pružiny Dunlop 2,75x2.....	62
Obr. 73	Převodové funkce nosné a regulační pružiny na zdvihu.....	63

Obr. 74	Převodové funkce mezi nosnou a regulační pružinou.....	63
Obr. 75	Schéma experimentu.....	64
Obr. 76	Naměřená amplitudová frekvenční charakteristika výchylky na prototypu pružícího podstavce se vzduchovým tlumením.....	65
Obr. 77	Naměřená amplitudová frekvenční charakteristika zrychlení na prototypu pružícího podstavce se vzduchovým tlumením.....	65
Obr. 78	Naměřené časové průběhy výchylek x a u při frekvenci 3,00 Hz na prototypu pružícího podstavce se vzduchovým tlumením.....	66
Obr. 79	Naměřené časové průběhy zrychlení a_x a a_u při frekvenci 3,00 Hz na prototypu pružícího podstavce se vzduchovým tlumením.....	66
Obr. 80	Naměřené časové průběhy přetlaků p_{p1} a p_{p2} v pneumatických pružinách při frekvenci 0,75 Hz na prototypu pružícího podstavce se vzduchovým tlumením.....	67
Obr. 81	Naměřené časové průběhy přetlaků p_{p1} a p_{p2} v pneumatických pružinách při frekvenci 1,00 Hz na prototypu pružícího podstavce se vzduchovým tlumením.....	67
Obr. 82	Naměřené časové průběhy přetlaků p_{p1} a p_{p2} v pneumatických pružinách při frekvenci 1,25 Hz na prototypu pružícího podstavce se vzduchovým tlumením.....	68
Obr. 83	Naměřené časové průběhy přetlaků p_{p1} a p_{p2} v pneumatických pružinách při frekvenci 1,50 Hz na prototypu pružícího podstavce se vzduchovým tlumením.....	68
Obr. 84	Naměřené časové průběhy přetlaků p_{p1} a p_{p2} v pneumatických pružinách při frekvenci 1,75 Hz na prototypu pružícího podstavce se vzduchovým tlumením.....	69
Obr. 85	Naměřené časové průběhy přetlaků p_{p1} a p_{p2} v pneumatických pružinách při frekvenci 2,00 Hz na prototypu pružícího podstavce se vzduchovým tlumením.....	69
Obr. 86	Naměřené časové průběhy přetlaků p_{p1} a p_{p2} v pneumatických pružinách při frekvenci 2,25 Hz na prototypu pružícího podstavce se vzduchovým tlumením.....	70
Obr. 87	Naměřené časové průběhy přetlaků p_{p1} a p_{p2} v pneumatických pružinách při frekvenci 2,50 Hz na prototypu pružícího podstavce se vzduchovým tlumením.....	70
Obr. 88	Naměřené časové průběhy přetlaků p_{p1} a p_{p2} v pneumatických pružinách při frekvenci 2,75 Hz na prototypu pružícího podstavce se vzduchovým tlumením.....	71
Obr. 89	Naměřené časové průběhy přetlaků p_{p1} a p_{p2} v pneumatických pružinách při frekvenci 3,00 Hz na prototypu pružícího podstavce se vzduchovým tlumením.....	71

Obr. 90	Naměřené časové průběhy přetlaků p_{p1} a p_{p2} v pneumatických pružinách při frekvenci 3,25 Hz na prototypu pružícího podstavce se vzduchovým tlumením.	72
Obr. 91	Naměřené časové průběhy přetlaků p_{p1} a p_{p2} v pneumatických pružinách při frekvenci 3,50 Hz na prototypu pružícího podstavce se vzduchovým tlumením.	72
Obr. 92	Naměřené časové průběhy přetlaků p_{p1} a p_{p2} v pneumatických pružinách při frekvenci 3,75 Hz na prototypu pružícího podstavce se vzduchovým tlumením.	73
Obr. 93	Naměřené časové průběhy přetlaků p_{p1} a p_{p2} v pneumatických pružinách při frekvenci 4,00 Hz na prototypu pružícího podstavce se vzduchovým tlumením.	73
Obr. 94	Naměřené časové průběhy přetlaků p_{p1} a p_{p2} v pneumatických pružinách při frekvenci 4,25 Hz na prototypu pružícího podstavce se vzduchovým tlumením.	74
Obr. 95	Naměřené časové průběhy přetlaků p_{p1} a p_{p2} v pneumatických pružinách při frekvenci 4,50 Hz na prototypu pružícího podstavce se vzduchovým tlumením.	74
Obr. 96	Naměřené časové průběhy přetlaků p_{p1} a p_{p2} v pneumatických pružinách při frekvenci 4,75 Hz na prototypu pružícího podstavce se vzduchovým tlumením.	75
Obr. 97	Naměřené časové průběhy přetlaků p_{p1} a p_{p2} v pneumatických pružinách při frekvenci 5,00 Hz na prototypu pružícího podstavce se vzduchovým tlumením.	75

1 Úvod

Řidiči nebo obecně obsluha stavebního stroje, autobusu, nákladního vozidla apod. stráví většinu své pracovní doby v sedadle obsluhovaného stroje nebo zařízení. U těchto zařízení vznikají vibrace při jízdě po nerovné vozovce nebo také v důsledku dynamických sil, které se přenášejí na podlahu z hnacích agregátů nebo pracovních ústrojí. Tyto vibrace nepříznivě působí na zdraví člověka.

Z hlediska hygienických předpisů, ergonomie a pracovní pohody jsou sedadla uvedených strojů obvykle vybavena vibroizolačním systémem. Jeho základními částmi jsou vodící mechanismus, pneumatická nebo ocelová pružina a hydraulický teleskopický tlumič kmitů. Úkolem vibroizolačního systému je minimalizace škodlivých vibrací přenášovaných na tělo obsluhy.

Nároky na vývoj a konstrukční řešení sedadla řidiče jsou tak specifické, že se jeho vývojem zabývají specializované firmy a většina výrobců stavebních strojů, autobusů a nákladních vozidel je nakupuje. Sedadla jsou tak využívána v různých zařízeních a při různých provozních podmínkách, které jsou dány zejména frekvenčními a amplitudovými poměry vibrací podlahy. Z toho důvodu je žádoucí, aby systémy odpružení sedadel vykazovaly účinnou vibroizolaci v co největším rozsahu těchto parametrů.

Za tím účelem byly vyvinuty konstrukce podstavců sedadel, které umožňují změnit vlastní frekvenci kmitání, případně upravit velikost tlumícího účinku kmitající dynamické soustavy. Změnu dynamických parametrů lze provést ručně podle provozních podmínek nebo automaticky pomocí akčních prvků podle signálu získaného ze snímačů kinematických veličin.

Existují rovněž systémy podstavců fungujících na bázi hydraulických zařízení, která na základě trvalého snímání vstupních kinematických veličin kmitání řídí polohu sedadla v prostoru. Tato zařízení spadají do skupiny aktivních vibroizolačních systémů a jejich cena je několikanásobně vyšší než je tomu u systémů pasivních. Tato skutečnost vymezuje aktivní vibroizolační systémy pouze do speciálních zařízení vyráběných v malých sériích jako jsou například velká rypadla, těžební stroje apod.

Vibroizolační systémy sedadel řidiče se tedy rozdělují na pasivní, u kterých pro správnou funkci není třeba přivádět energii, a aktivní, které využívají některý druh energie, obvykle hydraulickou nebo elektrickou.

Z uvedeného vyplývá, že zásadní význam v konstrukci pružících podstavců mají systémy pasivní s případnou změnou vlastní frekvence nebo tlumení tak, aby byly eliminovány nadměrné rezonanční kmity, které lze v důsledku variabilního buzení během provozu vždy očekávat.

Záměry výrobců odpružených sedadel se dnes soustřeďují zejména na tlumící účinky systému. Důvod spočívá v konstrukčně jednodušším potlačení rezonančních kmitů. Problém však zůstává v eliminaci tlumení mimo rezonanční oblast, neboť zde má tlumení velmi nežádoucí efekt.

Hodnocení dynamických vlastností odpružených sedadel je v zásadě interní záležitostí výrobce, který vychází z porovnávání vibroizolačních účinků jednotlivých konstrukčních variant a z provozních zkušeností svých odběratelů. Obecná norma není k dispozici, a proto v práci byly pro hodnocení sedadel použity ukazatele hygienických norem.

V rámci řešení dizertační práce byl vyroben funkční vzorek, na kterém byly teoreticky získané výsledky laboratorně ověřovány.

2 Cíl dizertační práce

Cílem dizertační práce je návrh vzduchového tlumení sedadla řidiče pro vybraný model pružícího podstavce a posouzení jeho tlumících vlastností na základě porovnání se stávajícím konstrukčním řešením, které využívá hydraulický teleskopický tlumič kmitů.

Za splněním tohoto cíle je dizertační práce rozdělena do pěti částí:

První část se zabývá současnými systémy pružících podstavců sedadel. Popisuje obvyklé vodící mechanismy a jejich varianty, často používané pružící a tlumící prvky a principy jejich využití v konstrukcích pružících podstavců.

Ve druhé části je do vybraného vodícího mechanismu podstavce sedadla proveden návrh zavěšení pneumatických pružin a řešení jejich vzájemného silového a pneumatického propojení.

Třetí část dizertační práce zabývá teoretickými východisky navrhovaného řešení, sestavením mechanického modelu a jeho řešením s ohledem na optimalizaci pružících a tlumících vlastností podstavce.

Ve čtvrté části je provedeno hodnocení vzduchového tlumení sedadla řidiče na základě ukazatelů hygienických norem. Tyto dynamické vlastnosti jsou porovnávány se stávající a nejčastěji používanou konstrukcí podstavce sedadla.

Pátá část popisuje konstrukci a výrobu funkčního vzorku a měření vibroizolačních schopností v laboratorních podmínkách.

3 Stávající pasivní vibroizolační systémy sedadel řidiče

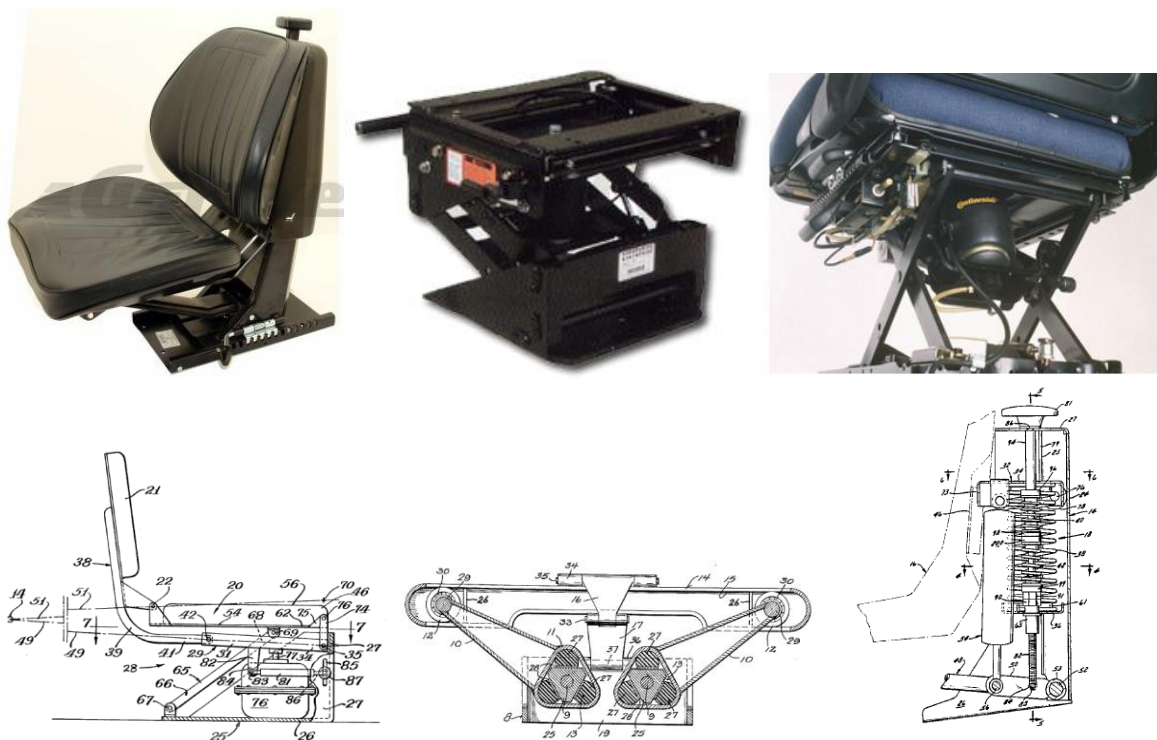
Hodnota vlastní frekvence vertikálního pohybu sedadla řidiče (Obr. 1) by měla z hlediska jeho jízdního komfortu být v rozsahu 1 až 2 Hz. Tohoto požadavku se docílí pružícími systémy na bázi pneumatických nebo kovových pružin.



Zdroj: [1]

Obr. 1 Sedadlo řidiče s pasivním vibroizolačním systémem

V současnosti existuje řada výzkumných institucí a specializovaných výrobců, kteří se zabývají sedadly včetně pružících podstavců pro řidiče nákladních automobilů, autobusů, vozidel armády, stavebních strojů apod. Existuje mnoho patentů (viz příloha 1) různých principů pružících podstavců využívajících pneumatických, mechanických nebo kombinovaných systémů (Obr. 2).



Zdroj: [2], [3], [4], příloha 1

Obr. 2 Mechanismy pružících podstavců sedadel (zleva pivota, paralelogram, nůžkový, čtyřčlenný, dvojitý kulisový, lineární)

Každý takový systém je obvykle tvořen vodícím mechanismem, pružícími a tlumícími prvky, regulátory stálé statické výšky a případně regulátory tuhosti odpružení.

Důležitým požadavkem na konstrukci pružícího podstavce je minimální zástavbový prostor a zejména jeho nízká bloková výška. Toho se dosahuje různými vodícími mechanismy, z nichž nejčastěji jsou používány mechanismy pákové, mechanismy s pivotou, paralelogramy a nůžkové mechanismy.

Pružící a tlumící elementy jsou do vodících mechanismů zavěšeny zpravidla tak, že výsledná tuhost pružícího podstavce je dána tuhostí příslušného prvku a druhé mocniny jeho mechanického převodu vzhledem k pohybu sedadla. Obdobné vazby platí i pro tlumící prvky.

Regulátory stálé statické výšky jsou integrovány ve vodících mechanismech pružících podstavců a mají zpravidla podobu pneumatických ventilů ovládajících pneumatickou pružinu nebo v případě kovové pružiny představují ústrojí pro změnu jejího předpětí. V některých případech se využívá sekundární mechanismus určený pouze pro změnu výšky sedadla.

3.1 Vodící mechanismy

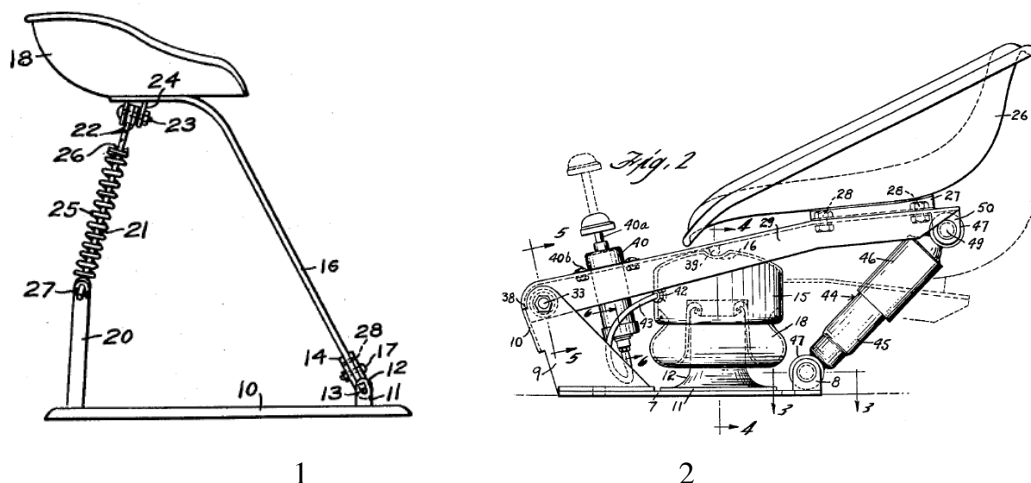
V současných konstrukcích pružících podstavců sedadel řidiče jsou až na výjimky použity mechanismy pákové, mechanismy s pivotou, paralelogramy a nůžkové mechanismy.

3.1.1 Pákový mechanismus

Jednoduchý pákový mechanismus je dvoučlenný mechanismus, který se skládá z rámu a páky. Na páce je upevněno sedadlo řidiče. Mezi pákou a rámem je umístěna obvykle tlačná pružina kovová nebo pružina pneumatická. Tyto pružiny mohou být nahrazeny torzní pružinou kovovou nebo pryžovou v místě otočného kloubu. Do mechanismu je obvykle zavěšen i hydraulický nebo třecí tlumič kmitů.

Na principu pákového mechanismu (*Obr. 3, 1*) byly vzhledem k jednoduchosti konstrukce zhotoveny jedny z prvních pružících podstavců sedadel řidiče. Jejich odpružení bylo zajištěno ocelovou tlačnou pružinou bez tlumení. Výhodou této konstrukce je pouze její jednoduchost. Použití ocelové pružiny bez zařízení, kterým lze nastavit její předpětí, je zajištěno pružení pouze pro úzké spektrum zatížení, resp. hmotnost řidiče. Absence tlumiče vibrací způsobí abnormální výchylky sedadla při buzení v okolí rezonanční oblasti mechanismu.

Pákový mechanismus (*Obr. 3, 2*) vybavený pneumatickou tlačnou pružinou doplněnou o vlastní zdroj stlačeného vzduchu umožňuje nastavit statickou výšku dle hmotnosti řidiče a tlumič kmitů snižuje výchylku v rezonanční oblasti.



Zdroj: příloha 1

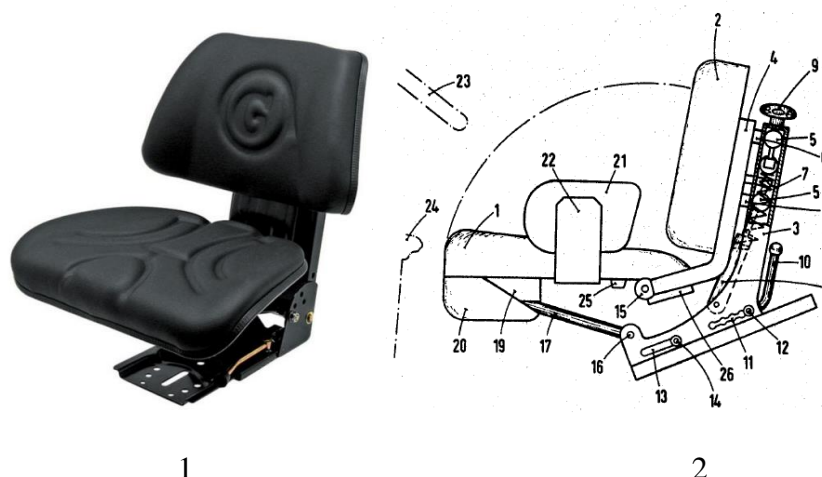
Obr. 3 Pružící podstavce sedadel řidiče využívající jednoduchý pákový mechanismus

Z podstaty pákového mechanismu se rovina vlastního sedadla při změně polohy mění a nezachovává tak rovnoběžnost s polohou ve statické výšce. Tato skutečnost představuje významnou nevýhodu, neboť se snižuje jízdní komfort v důsledku změny nejen výšky, ale i naklonění sedadla. Tento podstavec se v současnosti zejména kvůli uvedené nevýhodě téměř nevyužívá.

3.1.2 Čtyřčlenným mechanismus s pivotou

Mechanismus na principu pivoaty (Obr. 4) se dříve hojně využíval u pružících podstavců v traktorech, stavebních strojích a dalších obdobných strojích. Sedák a opěrák bývají většinou oddělené a některé konstrukce umožňují sklápění sedáku pro kabiny s malým prostorem.

Opěrák sedadla je veden v rámu, v něm je umístěna vinutá tažná pružina a mechanismus sloužící k nastavení tuhosti pružiny a statické výšky sedadla. Sedák je podepřen pivotou.



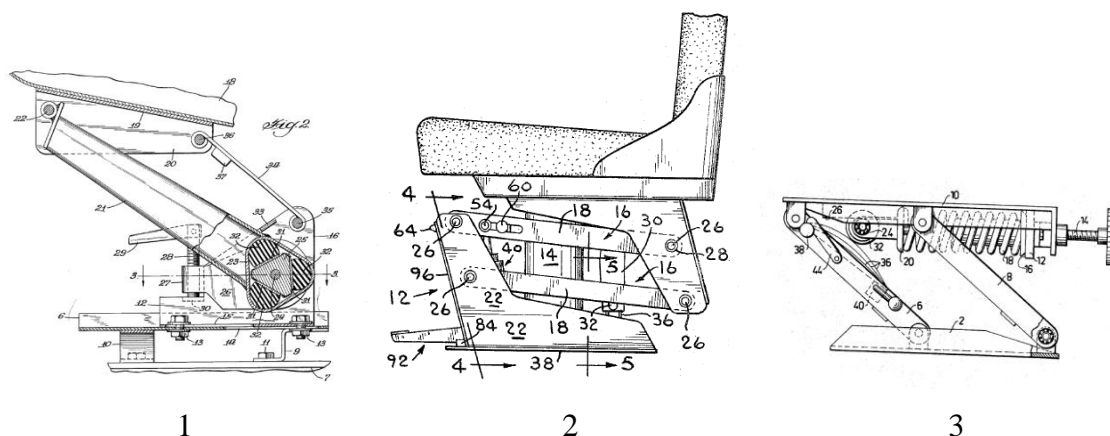
Zdroj: [5], příloha 1

Obr. 4 Pružící podstavce sedadla řidiče s pivotou: 1 - mechanicky odpružené sedadlo Granit, 2 - patent US3442552



3.1.3 Paralelogram

Paralelogram (*Obr. 5*) je čtyřkloubový dvojvahadlový mechanismus, ve kterém se obě vahadla spojená ojnicí otáčejí o stejný úhel v souhlasném smyslu. Typický paralelogram má stejně dlouhá vahadla. V tomto případě je ojnice vždy rovnoběžná s rámem. Na ojnici je upevněno sedadlo řidiče a každý jeho bod se pohybuje po kružnici. Vodící mechanismus v podobě paralelogramu zajišťuje konstantní sklon sedáku, opěrky zad a hlavy, což je z hlediska jízdního komfortu výhodné. Pokud je konstrukce pružícího podstavce provedena tak, že vahadla svírají s vodorovným směrem malý úhel, děje se pohyb sedáku téměř vertikálně. Tento typ vodícího mechanismu může být vhodně použit u pružících podstavců, které mají zajistit vysoký zdvih nebo vysokou variabilitu nastavení statické výšky. Výhodou paralelogramu jsou malé vůle v mechanismu.



Zdroj: příloha 1

Obr. 5 Pružící podstavce sedadla řidiče využívající čtyřkloubový mechanismus – paralelogram: 1 - patent US2985227; 2 - patent US3335993; 3 - patent US3339906

Do mechanismu bývá obvykle zavěšena pneumatická nebo ocelová pružina. Na *Obr. 5 - 1* je dle patentu US2985227 použita jako pružící prvek pryžová pružící vložka. Výška sedadla se provádí natočením tělesa uložení pružící vložky. Obvykle bývá mechanismus vybaven tlumičem kmitů. Na *Obr. 5 - 1* není tlumič použit, jelikož pryžová pružící vložka zajišťuje kromě pružení také tlumení. Na *Obr. 5 - 2* je tlumič zavěšen paralelně vedle pneumatické pružiny. Mechanismus na *Obr. 5 - 3* využívá k pružení vinutou tlačnou pružinu, jejíž tuhost, resp. zdvih sedadla nastavuje centrálním šroubem. Tento mechanismus není vybaven zvláštním tlumičem vibrací a předpokládá se tlumení pasivními odpory v rotačních uloženích jednotlivých součástí podstavce.

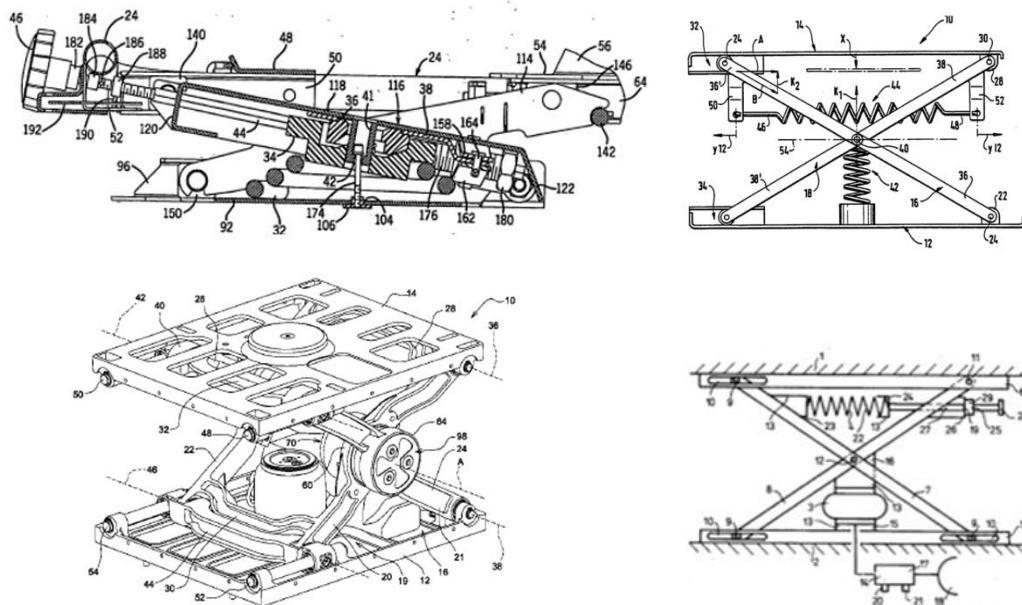
3.1.4 Nůžkový mechanismus

Nůžkový mechanismus (*Obr. 6*) se jako vodící mechanismus používá v současné době velmi často. Jeho výhodou oproti výše uvedeným je pohyb sedadla pouze ve vertikální ose.

Konstrukčně se mechanismus skládá z dolní desky, na jejíž jedné straně je otočně uloženo jedno rameno a na její druhé straně je vedení pro posuvnou vazbu druhého ramene. Ramena jsou navzájem spojena otočně a zpravidla souměrně. Horní deska nůžkového vodícího mechanismu podstavce má s rameny kinematické vazby, které jsou souměrné podle horizontální roviny s vazbami na dolní desce.



Pneumatická nebo kovová pružina je obvykle zavěšena mezi jedním ramenem a dolní deskou mechanismu. Použití šroubovitě vinuté kuželové pružiny umožňuje dosáhnout velmi nízké konstrukce podstavce (*Obr. 6*), kombinací dvou pružin zavěšených v nůžkovém mechanismu lze dosáhnout změny tuhosti a průběhu zatěžovací charakteristiky. Velmi často se využívá pneumatická pružina, případně i v kombinaci s kovovou pružinou. Do vodícího mechanismu je také zavěšen hydraulický tlumič kmitů.



Zdroj: příloha 1

Obr. 6 Pružicí podstavce sedadel řidiče využívající nůžkový mechanismus

3.2 Pružící prvky

Pružící elementy používané v podstavcích sedadel řidiče mohou být pneumatické, kovové nebo pryžové. Pneumatické pružiny mají značnou přednost v jednoduchém nastavení statické výšky a v důsledku značného snížení jejich výrobní ceny se výrobci sedadel soustřeďují právě na tyto pružiny. Kovové pružiny lze najít v jednoduchých a levných konstrukcích. Pryžové pružiny se uplatňují pouze jako doplňkové, například v okrajových oblastech zdvihu sedadla.

Charakteristiky pružin používaných v pružících podstavcích sedadel mohou být lineární nebo nelineární progresivní či degresivní. Pokud je třeba zatěžovací charakteristiku upravit, například z důvodu optimalizace dynamických vlastností systému, lze využít převodu silových účinků pružiny ve vodícím mechanismu, případně pružiny řadit sériově nebo paralelně.

3.2.1 Pneumatické pružiny

Pružícím médiem pneumatických pružin je stlačený vzduch přivedený ze zdroje přes regulátor do uzavřeného prostoru, který je vytvořen pryžokordovým měchem a dvěma víky. Veškeré vzduchové pružiny jsou namáhány pouze tlačnou silou.

Změnou přetlaku vzduchu v pružině lze dosáhnout snadné regulace stálé statické výšky nezávisle na zatížení. Existují konstrukční možnosti, jak lze dosáhnout změny tuhosti nezávisle na zatížení, což umožňuje dynamickou soustavu sedadla řidiče s ohledem na provozní podmínky účelně naladit.

Tato skutečnost předurčuje použití pneumatických pružin pro takové případy technické praxe, kdy se za provozu výrazně mění statické zatížení pružného pružné vazby. V tomto smyslu se jedná zejména o odpružení náprav nákladních vozidel, karosérií autobusů, sedadel řidiče apod.

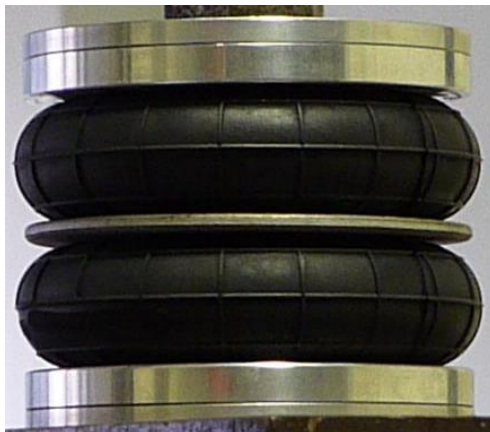
Vzhledem k relativně velké nosnosti pneumatických pružin při nízké tuhosti a malých nárocích na zástavbový prostor se užívají jako pružné elementy systémů vibroizolace strojů a zařízení.

Pneumatické pružiny jsou konstrukční prvky s obecně nelineárními zatěžovacími charakteristikami, které mohou být progresivní nebo degresivní. Vlastnosti pneumatické pružiny se zjišťují laboratorními měřeními jejich geometrických charakteristik. Jedná se o závislost objemu a tzv. efektivní plochy na zdvihu.

Typů pneumatických pružin je celá řada. Nejrozšířenější je vlnovcová pneumatická pružina (Obr. 7). Obvykle se vyrábí v provedení jedné, dvou a tří vln. Jednotlivé vlny jsou odděleny prstenci různých tvarů a materiálů. Vlnovcová pružina se vyznačuje širokým spektrem uplatnění. Obvykle se jednovlnová pružina využívá k vibroizolaci, vícetvlnové k odpružení náprav vozidel nebo v sedadlech řidiče autobusů, nákladních automobilů a stavebních strojů [6].

Vaková pružina (Obr. 8) nahradila vlnovcovou pružinu v oblasti odpružení náprav nákladních automobilů. Vyznačuje se vysokým zdvihem a delší životností oproti vlnovcové pružině, u které dochází často k poškození měchu v oblasti prstence v důsledku ulpívání nečistot.





Zdroj: vlastní

Obr. 7 Vlnovcová pneumatická pružina



Zdroj: [7]

Obr. 8 Tlačná vaková pneumatická pružina

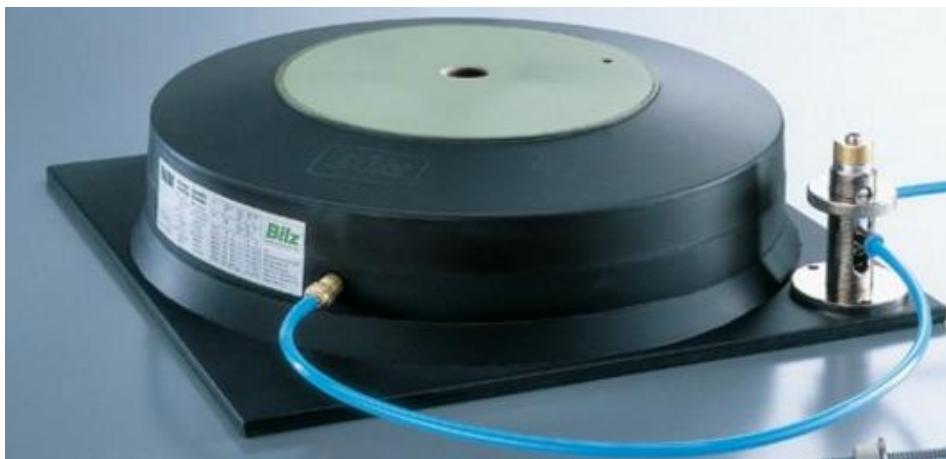


Zdroj: [8]

Obr. 9 Hadicová pneumatická pružina

Hadicová pneumatická pružina (*Obr. 9*) má podobné přednosti jako pružina vaková. Má však nižší nosnost. Její výhodou jsou naopak nízké výrobní náklady a malý zástavbový prostor. Využívá se zejména k odpružení sedadel řidiče nákladních automobilů a stavebních strojů.

Membránová pružina (*Obr. 10*) se využívá zejména jako vibroizolační prvek. Umožňuje pohyb pouze ve vertikálním směru. Jejím limitujícím prvkem je nízký zdvih. Její výhodou je zejména malá statická výška, příčná stabilita a nízké výrobní náklady [6].



Zdroj: [9]

Obr. 10 Membránová pneumatická pružina

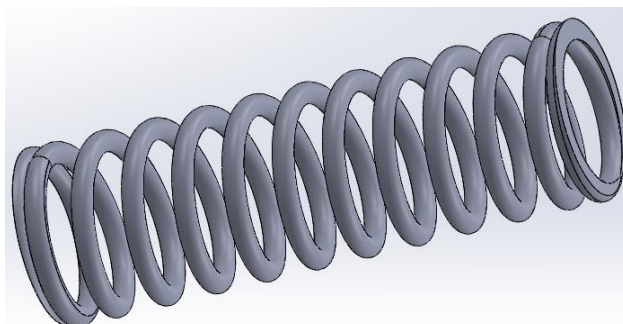
3.2.2 Kovové pružiny

Jedná se o nejběžnější pružiny, které jsou vyráběné zpravidla z tzv. pružinových ocelí a v různých podobách. Tvar pružiny je určen druhem zatížení a požadavky na velikost pružné deformace.

Kovové pružiny mohou být zatěžovány různými způsoby a ve většině případů představují lineární pružící prvky s malým vnitřním tlumením. Oblast použití pružiny je výrobcem vymezena v zatěžovací charakteristice pružiny, kde je definován rozsah zdvihu a maximální provozní zatížení.

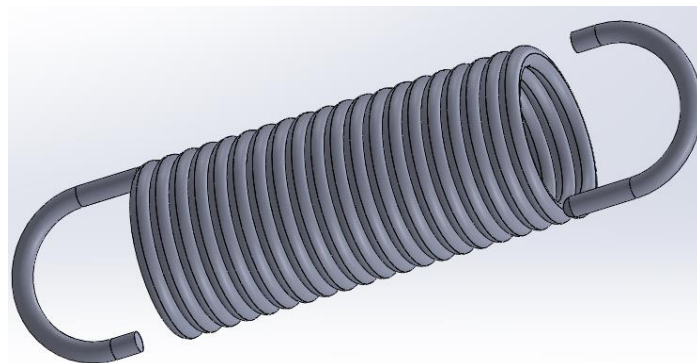
Velmi častým druhem pružiny je tlačná válcová šroubovitě vinutá pružina (*Obr. 11*) s lineární charakteristikou. Bývá vyrobena z drátu obvykle kruhového průřezu navinutého ve tvaru šroubovice s konstantním nebo nekonztantním úhlem stoupání. Pro uchycení ke spojovaným součástem má pružina na svých koncích závěrné závity, které jsou přihnuty k sobě a obvykle upraveny broušením. Tuhost pružiny je závislá na konstrukčních parametrech pružiny, kterými jsou střední průměr vinutí pružiny, průměr drátu a počet činných závitů. Drát je namáhán zejména krutem.

Válcová šroubovitě vinutá pružina tažná (*Obr. 12*) je navinuta ve šroubovici se závity těsně přiléhajícími na sebe obvykle z drátu kruhového průřezu. Pro uchycení ke spojovaným součástem je opatřena na svých koncích závěsnými oky, která jsou vytvořena vyhnutím posledního závitu. Tuhost pružiny závisí na obdobných parametrech, jako je tomu u válcové šroubovitě vinuté pružiny tlačné [6].



Zdroj: vlastní

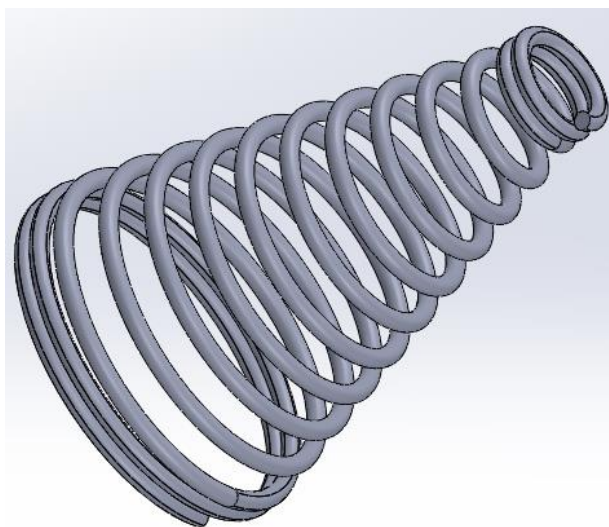
Obr. 11 Tlačná válcová šroubovitě vinutá pružina



Zdroj: vlastní

Obr. 12 Tažná válcová šroubovitě vinutá pružina

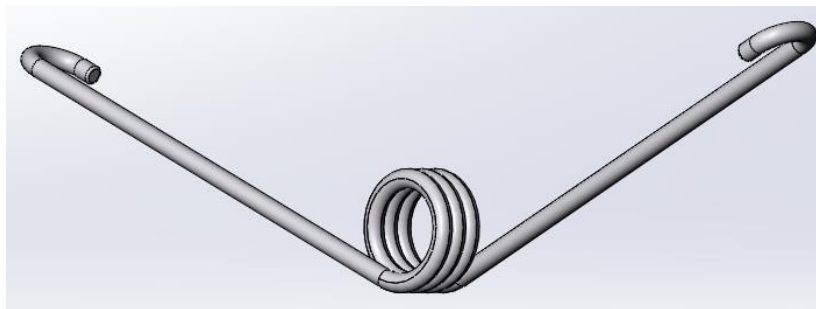
Kuželová šroubovitě vinutá tlačná pružina (*Obr. 13*) je vyrobena obvykle z drátu kruhového průřezu, který je navinut na kuželové ploše ve šroubovici s konstantním nebo proměnným úhlem stoupání. Obdobně jako pružina válcová šroubovitě vinutá tlačná je opatřena zabroušenými závěrnými závity pro uchycení ke spojovaným součástem. Význam kuželového tvaru spočívá v možnosti dosažení jednak nelineární zatěžovací charakteristiky v důsledku postupného dosedání činných závitů na sebe nebo na podložku a jednak v malé blokové výšce, která může být redukována až na průměr drátu [6].



Zdroj: vlastní

Obr. 13 Tlačná vinutá kuželová pružina

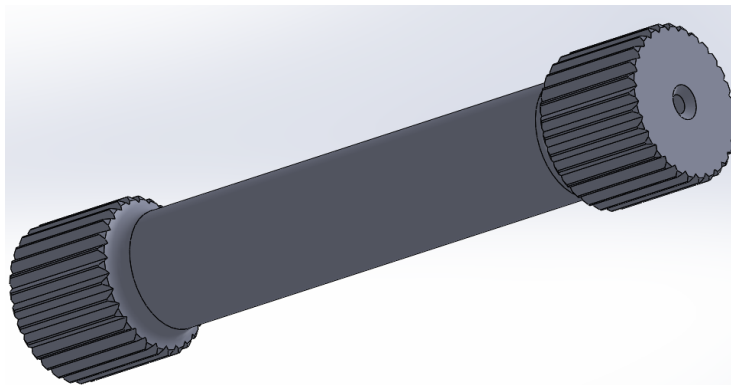
Válcová šroubovitě vinutá pružina zkrutná (*Obr. 14*) je nejvíce používanou zkrutnou pružinou. Je provedena podobně jako válcová šroubovitě vinutá pružina tažná se závity navinutými s nepatrnou vůlí. Drát pružiny je stejně jako u spirálové pružiny namáhán ohybem [6].



Zdroj: vlastní

Obr. 14 Válcová šroubovitě vinutá pružina zkrutná

Torzní tyč (*Obr. 15*) je jednoduchá pružina, jejíž princip je založen na zkrutné poddajnosti tyče, která má v činné části kruhový průřez a na obou koncích je opatřena upevňovacími hlavicemi pro uchycení ke spojovaným součástem [6].



Zdroj: vlastní

Obr. 15 Torzní tyč

Listová pružina (*Obr. 16*) je obvykle tvořena pásem nebo svazkem pásů obdélníkového průřezu a je zatěžována silou, která způsobuje jejich ohybové namáhání. Základními parametry pružiny jsou její délka a celkový moment setrvačnosti průřezu [6].



Zdroj: [10]

Obr. 16 Listová pružina

3.2.3 Pryžové pružiny

Pružícím prvkem je pryž, která vzniká vulkanizací přírodního nebo syntetického kaučuku. Pro pružiny se využívá pryže s tvrdostí 30 až 70 HSh s modulem pružnosti. Pryž je při vulkanizačním procesu připojena ke kovovým úchytům. Pryžové pružiny jednoduchých tvarů jsou nazývány silentbloky a velmi často se používají v automobilovém průmyslu.

Pryžové pružiny mají být obecně konstruovány a provozovány tak, aby pryž byla namáhána tlakem nebo smykem. Zdvih nebo zkrut pryžové pružiny je malý. Při deformaci vykazuje pryž velké vnitřní tření a má tak schopnost tlumit silové a momentové rázy.

Pryžové pružiny mohou mít různý tvar, nejčastěji však bývá v podobě desky nebo objímky. Desková pružina má obvykle tvar válce nebo hranolu s jedním nebo dvěma kovovými úchyty pro upevnění ke spojovaným součástem (*Obr. 17*) [6].



Zdroj: [11]

Obr. 17 Desková pružina

Objímkovou pružinu představuje pryž ve tvaru válce s vnitřním a vnějším průměrem, na jejichž površích jsou nejčastěji navulkanizovány kovové dílce (*Obr. 18*). Při větších deformacích má jejich zatěžovací charakteristika progresivní průběh.



Zdroj: [12]

Obr. 18 Objímková pružina

Cíleným tvarováním pryžového dílu lze získat požadované, často velmi složité průběhy zatěžovací charakteristiky.

3.3 Tlumící prvky

Tlumící prvky jsou velmi důležitými součástmi pružících podstavců sedadel řidiče a zásadně zvyšují jízdní komfort. V praxi existuje velké množství tlumících prvků, pasívních, ale i aktivně řízených. Nejčastěji se však používají hydraulické teleskopické tlumiče kmitů. Základem takového tlumiče je mechanická část s integrovanou kapalinou, stlačeným plynem, případně řídicí elektronikou.

Tlumiče lze rozdělit na jednočinné, které tlumí pouze v jednom směru pohybu a dvojitě, které tlumí v obou směrech.

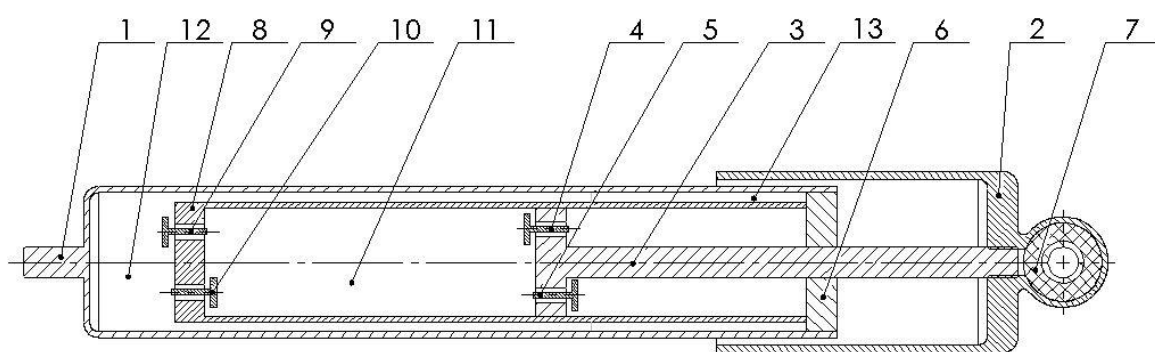
Z hlediska chování v dynamickém systému lze tlumiče rozdělit na pasívní, semiaktivní a aktivní.

3.3.1 Pasívní tlumiče

Tlumící charakteristika je u pasívního tlumiče konstantní. Je dána mechanickým uspořádáním tlumiče. Pracovním médiem tlumiče je olej a plyn, případně jejich kombinace. Některé kapalinové tlumiče jsou vybaveny regulačním ventilem, kterým je do jisté míry umožněno měnit charakteristiku tlumiče. Tento ventil je ovládán buď mechanismem současně s nastavením tuhosti sedadla, nebo obsluhou. Tuhost sedadla a tlumení je na základních typech pružících podstavců nastavována manuálně dle ukazatele hmotnosti řidiče.

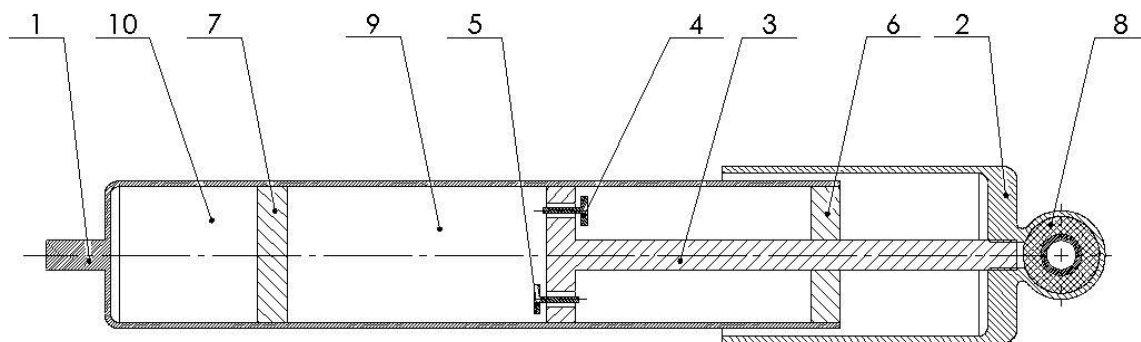
Výhodou pasívních tlumičů je jednoduchá konstrukce, z toho vyplývající nízká cena a vysoká spolehlivost. V některých případech je určitou nevýhodou neměnná tlumící charakteristika.

K základním druhům pasívních tlumičů patří dvouplášťový tlumič (Obr. 19). Skládá se z pístu a pracovních prostorů zaplněných olejem a plynem. Princip činnosti spočívá v přepouštění pracovního média mezi pracovními prostory při pohybu pístu [13].



Zdroj: vlastní

Obr. 19 Schéma nízkotlakého dvouplášťového tlumiče (1- plášť tlumiče, 2-kryt pístní tyče, 3-pístní tyč s pracovním pístem, 4-ventil propouštějící při roztahování, 5-ventil propouštějící při stlačování, 6-uzávěr pláště s těsněním pístní tyče, 7-přezková pružina pro upevnění tlumiče, 8-vnitřní plášť s otvory pro ventily, 9-ventil propouštějící při stlačování, 10-ventil propouštějící při roztahování, 11-prostor s olejem, 12-vyrovňovací prostor, 13-plynový polštář)



Zdroj: vlastní

Obr. 20 Schéma vysokotlakého jednovláškového tlumiče (1- plášť tlumiče, 2-kryt pístní tyče, 3-pístní tyč s pracovním pístem, 4-ventil propouštějící při stlačování, 5-ventil propouštějící při roztahování, 6-uzávěr pláště s těsněním pístní tyče, 7-dělicí píst, 8-pryžová pružina pro upevnění tlumiče, 9-prostor s olejem, 10-plynový polštář)

Jednovláškový tlumič (Obr. 20) odstraňuje hlavní nedostatek dvouvláštového tlumiče, kterým je pění oleje a tvorba vzduchového polštáře nad pístem [14].

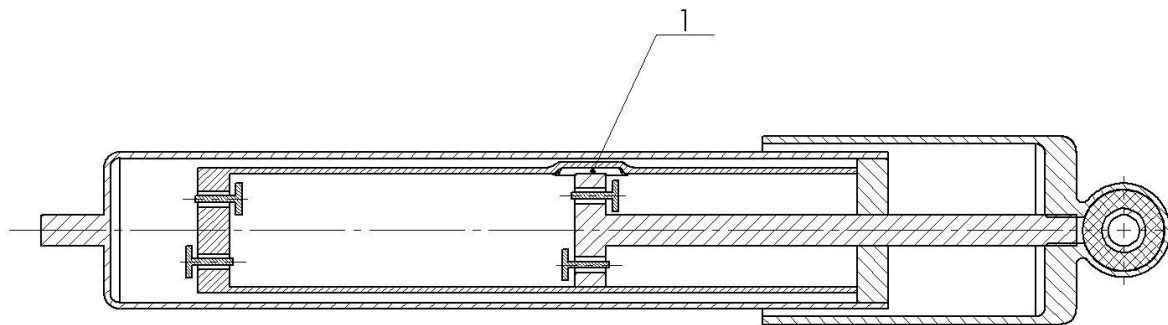
V pružících podstavcích sedadel řidiče se obvykle používají nastavitelné dvou nebo jednovláškové tlumiče. Hodnotu součinitele tlumení lze mechanicky nastavovat změnou velikosti průtokových otvorů v pracovním pístu (Obr. 21)



Zdroj: [15], [16]

Obr. 21 Nastavitelné jedno a dvouvláštové tlumiče: 1 - SEARS, 2 - SUSPA

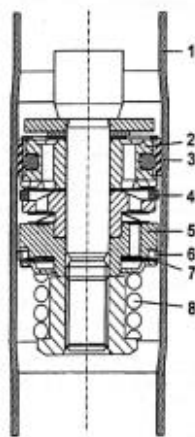
Firma Monroe vyvinula tlumič PSD (*Position Sensitive Damping*). Tlumič je vybaven obtokovým kanálem v oblasti statické výšky odpruženého objektu (Obr. 22), kde se předpokládá, že dochází pouze k malým výchylkám s možností absence tlumení.



Zdroj: vlastní

Obr. 22 Schéma PSD tlumiče (v místě 1 je v plášti drážka - obtokový kanál umístění ve statické výšce při aplikaci na stroji; ostatní části stejné jako dvouplášťový či jednoplášťový tlumič)

Pro krátké zdvihy se používá tlumič DCD (Displacement Conscious Damping), který pracuje na podobném principu jako PSD tlumič, ale pracovní válec je uprostřed rozšířen. Využívá se tam, kde je tlumič montován v šikmé poloze (Obr. 23).



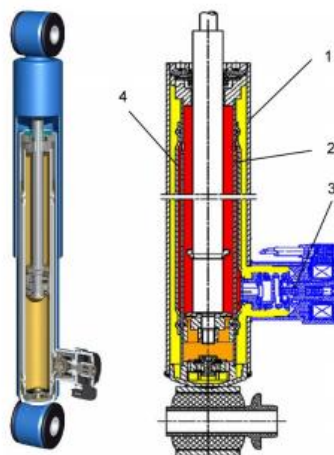
Zdroj: [17]

Obr. 23 Schéma DCD tlumiče: (1 – tlakový pracovní válec, 2 – píst, 3 – pružný těsnící kroužek, 4 – tlakový těsnící kroužek, 5 – těleso zpětného ventilu, 6 – pístní kroužek, 7 – planžeta zpětného ventilu, 8 – pružina)

3.3.2 Semiaktivní tlumení

Tlumič je řízen signálem, který umožňuje plynule měnit charakter tlumení. Tlumič se tak přizpůsobuje aktuální situaci. Řídicí systém získává informaci z jízdy a upravuje intenzitu tlumení podle požadovaných provozních vlastností. Konstrukce samotného tlumiče bývá různá.

Mezi nejzajímavější druhy semiaktivních tlumičů (Obr. 24) patří tlumič CDC (Continuous Damping Control). Konstrukce vychází z pasivního dvouplášťového tlumiče. Obsahuje řídicí ventil, který reguluje průtok kapaliny mezi pracovními komorami pístu. Lze tak plynule dosáhnout aktuálně požadované charakteristiky tlumení [13].

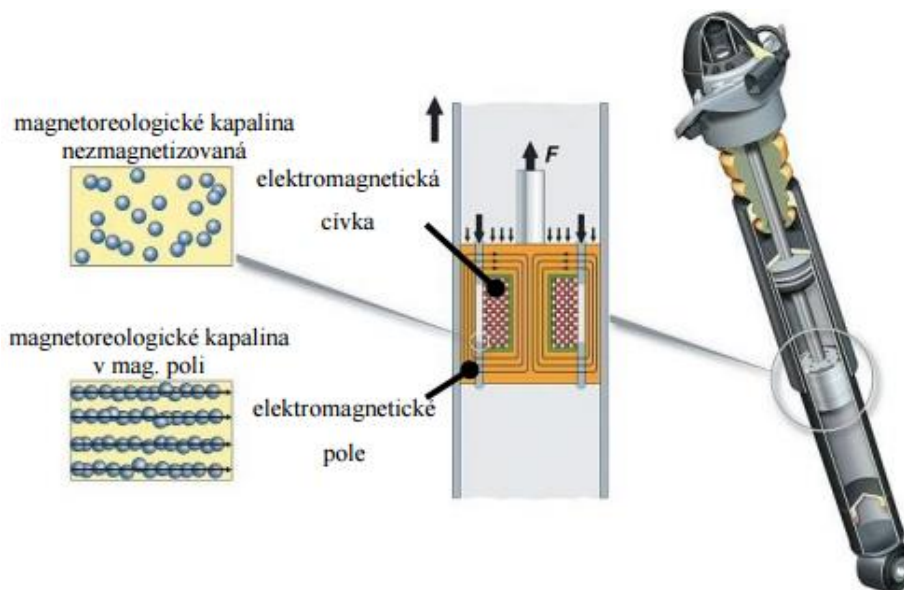


Zdroj: [17]

Obr. 24 Schéma elektronicky řízeného CDC tlumiče: 1 – vnější plášť, 2 – vnitřní plášť, 3 – regulovatelný ventil, 4 – přepouštěcí meziprostor

Tlumiče MR (Magnetorheological) vychází z konstrukce pasivního tlumiče, je ovšem naplněn magnetickou kapalinou, která se skládá z velmi jemných feromagnetických částic a nosné kapaliny, zpravidla oleje (Obr. 25). Na průtokových kanálech je navinuta cívka, která mění intenzitu magnetického pole. Při vypnuté cívce je průtok volný, při zapnuté cívce ulpí feromagnetické částice uvnitř kanálů a zabraňují tak průtoku, čímž se zvyšuje tlumicí účinek.

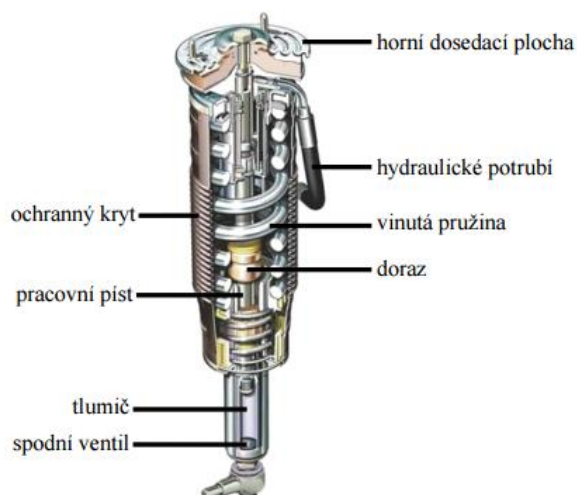
[13]



Zdroj: [13]

Obr. 25 Schéma MR tlumiče

Tlumicí systém ABC (Active Body Control), který vyvinula automobilka Mercedes-Benz se skládá z elektronicky řízeného hydraulického válce, ve kterém je snímač monitorující tlak stlačené kapaliny (Obr. 26). Reguluje kmity do 6 Hz, je pouze doplňkem pasivního tlumení [24].



Zdroj: [13]

Obr. 26 Schéma ABC tlumiče

Tlumič BOSE (*Obr. 27*) nahrazuje aktivní hydraulické tlumiče lineárními elektromotory. Oproti předchozím systémům, které měly dobu reakce 10ms, reaguje systém BOSE do 1ms a má schopnost rekuperovat energii [13].



Zdroj: [18]

Obr. 27 Tlumič BOSE

3.4 Regulační prvky

Sedadlo, které plní funkci vibroizolačního zařízení, jakožto prostředku oddělovacího řidiče vozidla od vibrací přenášených na podlahu kabiny v důsledku jízdy po nerovné vozovce, umožňuje zpravidla i výškové nastavení sedadla. Kromě toho často existuje i možnost nastavení pružících a tlumících parametrů, které lze nastavit skokově, či plynule. Přesnost nastavení závisí na použitých pružících a tlumících elementech a na regulačních prvcích. Regulační systémy podstavce sedadla mohou být mechanické, pneumaticko-mechanické, hydraulicko-mechanické, elektro-pneumatické, případně může být využito i jiných kombinací uvedených řídicích systémů.

3.4.1 Regulátory statické výšky

Statická výška sedadla vybaveného vzduchový odpružením je nastavena v okamžiku dosednutí řidiče na sedák. Obvykle dochází nejdříve k poklesu pod žádanou výšku, na kterou se sedadlo nastaví. V případě pneumaticky ovládaného sedadla jsou pro regulaci statické výšky použity pneumatické ventily (*Obr. 28*). Do mechanismu jsou vřazeny tak, že část ventilu, která obsahuje šroubení pro připojení stlačeného vzduchu, je upevněna na nepohyblivé části a táhlo je připevněno k pohyblivé části. Vnitřní konstrukce ventilu a délka táhla ovlivňují hysterezi zdvihu.



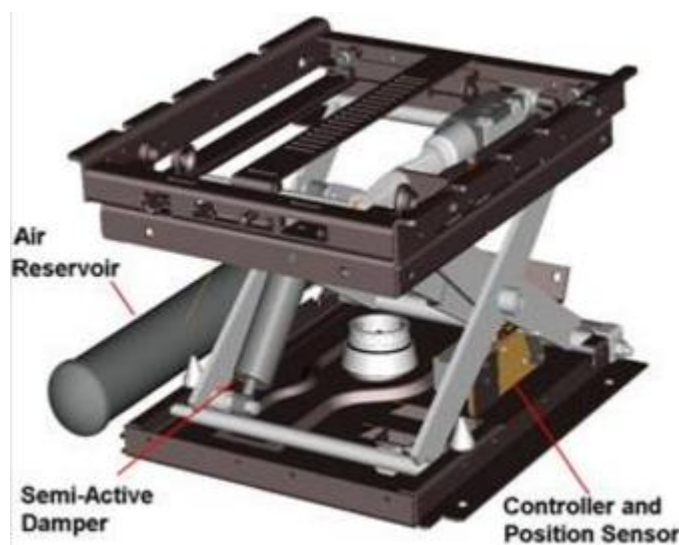
Zdroj: [19], [20]

Obr. 28 Pneumatické ventily regulace statické výšky

3.4.2 Regulátory tuhosti

Většina odpružených sedadel využívající jako pružící prvek zejména vzduchovou pružinu, možnost nastavení tuhosti pozbývá. Tuhost je nastavena z výroby a je dána rozměry pneumatické pružiny a jejím mechanickým převodem ve vodícím mechanismu. Sedadla jsou zhotovena s nastavením tuhosti, které odpovídají povrchu, po které bude daný pracovní stroj, nákladní automobil, či jiný dopravní prostředek jezdit.

Technicky vyspělejší sedadla využívají pro změnu tuhosti přídavný objem (Obr. 29). Takto navržená sedadla nacházejí využití ve strojích, které během provozu mění charakter povrchu, po kterém se pohybují. Takovým strojem je například traktor. Jedno nastavení tuhosti sedadla je používáno na poli, kde jsou velké výchylky s malou frekvencí, druhé se pak použije při cestě po zpevněné vozovce, kde jsou malé výchylky a vysoké frekvence.



Zdroj: [21]

Obr. 29 John Deere Active Seat

Elektronicky řízené systémy využívají stejně jako při řízení statické výšky pružícího podstavce řadu snímačů. Naměřené hodnoty vyhodnotí řídicí jednotka sedadla, která například propojuje pneumatickou pružinu s přídavným objemem nebo nastaví intenzitu tlumení hydraulického tlumiče.

4 Tlumicí systémy pružících podstavců sedadel řidiče

Dynamické systémy pružících podstavců sedadel řidiče využívají obvykle pneumatickou pružinu, která je spolu s hydraulickým teleskopickým tlumičem kmitů zavěšena ve vodícím mechanismu. Způsob zavěšení pružiny a tlumiče určuje převod jejich parametrů ve vztahu k odpruženému sedadlu.

Tuhost a tlumení pružícího podstavce jako celku jsou nastaveny výrobcem podle obvyklých provozních podmínek tak, aby jeho frekvenční přenosová funkce kinematických veličin vykazovala minima právě při nejčastěji se vyskytujících frekvencích. Je zřejmé, že s ohledem na rozmanitá frekvenční spektra kinematického buzení nelze však uspokojivé vibroizolace sedadla řidiče všeobecně dosáhnout.

Z toho důvodu je snaha výrobců sedadel řidiče o takové konstrukce podstavců, které by umožňovaly přeladění celého dynamické soustavy do nadrezonančního nebo podrezonančního stavu. Takové systémy, obvykle na pneumatické pružící bázi, jsou však nákladné, neboť vyžadují elektronické řízení založené na trvalém snímání hodnot kinematických veličin kmitání sedadla a současně odpovídající reakci akčních mechanismů pro přeladění soustavy.

Vývoj sedadel řidiče ukazuje, že přeladění, tedy změna tuhosti pružícího podstavce během provozu nepřináší ani dostatečné zlepšení vibroizolační funkce, ani žádaný ekonomický efekt.

Za těchto podmínek je nasnadě vývoj pružících podstavců směrem, který upřednostňuje tlumení jako rozhodující faktor účinné vibroizolace. V řadě systémů jsou dnes aplikovány hydraulické tlumiče s nastavitelným účinkem tlumení, což umožňuje zamezit nepříznivým rezonančním jevům.

V konstrukcích pružících podstavců sedadel řidiče pro nákladní vozidla a autobusy se dnes využívají téměř výhradně pneumatické pružiny. Tato skutečnost vede ke snahám integrovat do pneumatického pružícího systému i systém tlumící alespoň jako pomocný prostředek pro překonání rezonančních stavů.

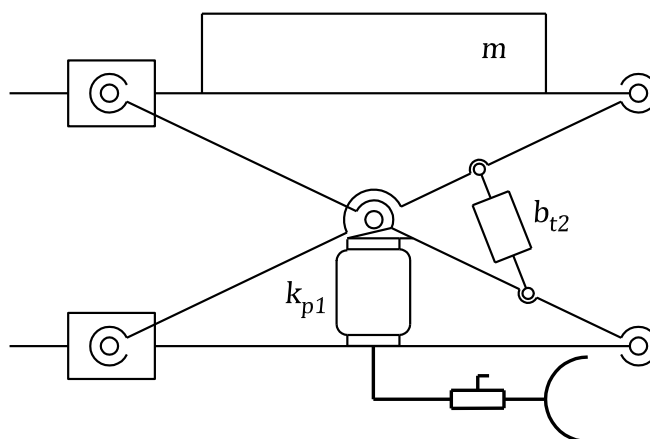
Již několik let jsou známy systémy, kdy je k nosné pneumatické pružině zavěšené do vodícího mechanismu pružícího podstavce připojen přídatný objem realizovaný tlakovou nádobou umístěnou v blízkosti sedadla. Toto pneumatické spojení je z hlediska průtoku stlačeného vzduchu regulováno elektronicky řízeným ventilem za předpokladu snímání hodnot kinematických veličin kmitání sedadla anebo je vybaveno škrtícím prvkem. V obou případech jde o převod slabě nelineární soustavu na silně nelineární, kdy v důsledku větších výchylek sedadla v rezonanční oblasti dojde k blokování průtoku mezi pneumatickou pružinou a přídatným objemem a tuhost systému i vlastní frekvence se následně změní. Obě tato řešení však nemají dostatečnou schopnost utlumit sedadlo v celém požadovaném rozsahu, a proto se předpokládá podpora tlumení hydraulickým tlumičem kmitů.

Systém vzduchového tlumení, který je předmětem dizertační práce vychází z myšlenky, že k nosné pneumatické pružině je připojena tzv. regulační pneumatická pružina, která je ve vodícím mechanismu zavěšena tak, že má silový účinek vzhledem k rovnováze sedadla právě opačný. V tomto zapojení je tedy stlačený vzduch nuceně přepravován mezi oběma pneumatickými pružinami, které se svými výslednými silovými účinky na sedadlo projevují obecně s fázovým posunem.

Kvantitativní hodnocení systému vzduchového tlumení bude následně provedeno ve srovnání se současně nejrozšířenějším konstrukčním provedením, které obsahuje pneumatickou pružinu a hydraulický tlumič kmitů.

4.1 Tlumicí systém s hydraulickým tlumičem kmitů

V konstrukci tohoto tlumicího systému je hydraulický tlumič kmitů s předpokládaným součinitelem tlumení b_{t2} podobně jako pneumatická pružina s předpokládanou tuhostí k_{p1} zavěšen ve vodícím mechanismu. Budeme dále předpokládat, že se jedná o mechanismus nůžkový, který zaujímá pro své výše uvedené přednosti v konstrukcích pružících podstavců zásadní postavení (Obr. 30).



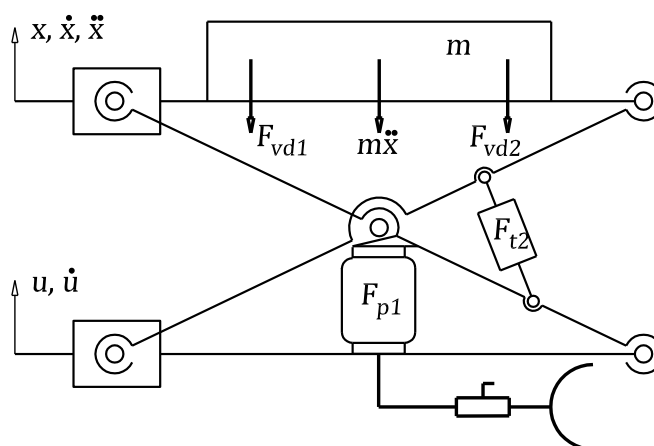
Zdroj: vlastní

Obr. 30 Pružící podstavec s hydraulickým tlumičem kmitů

4.1.1 Mechanický model

V případě pružícího podstavce sedadla řidiče podle Obr. 30 působí za provozu na sedadlo s řidičem o celkové hmotnosti m dynamické vratné síly F_{vd1} od pneumatické pružiny a F_{vd2} od tlumiče kmitů. Při předpokládaném kinematickém stavu sedadla daném hodnotami kinematických veličin, výchylky x , rychlosti \dot{x} a zrychlení \ddot{x} působí na sedadlo s řidičem ještě setrvačná síla $m\ddot{x}$ (Obr. 31).

Vratná dynamická síla F_{vd1} je dána tuhostí k_{p1} pneumatické pružiny, silovým převodem i_1 určeným jejím zavěšením ve vodícím mechanismu a relativní výchylkou sedadla $(x - u)$. Obdobně je tomu se silou F_{vd2} , kterou působí na sedadlo s řidičem hydraulický tlumič se součinitelem tlumení b_{t2} , silovým převodem i_2 a relativní rychlostí sedadla $(\dot{x} - \dot{u})$.



Zdroj: vlastní

Obr. 31 Dynamické síly pružícího podstavce s hydraulickým tlumičem kmitů na sedadlo s řidičem

4.1.2 Dynamický výpočet

Zjištění dynamických vlastností pružícího podstavce se provádí na základě řešení pohybových rovnic, při kterém se simulují obvykle zjednodušené provozní podmínky a analyzují vlivy jednotlivých dynamických parametrů. Parametry dynamické soustavy jsou s ohledem na jednoznačnost výpočtů a učiněných závěrů linearizovány.

4.1.2.1 Pohybové rovnice

Pro dynamickou soustavu podle Obr. 31 lze psát pohybovou rovnici ve tvaru

$$m\ddot{x} + F_{vd2} + F_{vd1} = 0 . \quad (4.1)$$

Vratné dynamické síly F_{vd1} a F_{vd2} je možno vyjádřit pomocí tuhosti k a součinitele tlumení b pružícího podstavce jako celku, které jsou dány parametry pružiny k_{p1} a tlumiče b_{t2} a jejich příslušnými převody i_1 a i_2 .

Tedy

$$k = i_1 k_{p1} \quad (4.2)$$

a

$$b = i_2 b_{t2} . \quad (4.3)$$

Potom bude mít pohybová rovnice tvar

$$m\ddot{x} + b(\dot{x} - \dot{u}) + k(x - u) = 0 . \quad (4.4)$$

S ohledem na Fourierův rozklad periodické funkce lze kinematické buzení u bez újmy na obecnosti řešení předpokládat jako harmonickou funkci

$$u = u_0 \sin \omega t . \quad (4.5)$$

Po dosazení a úpravě vyjde

$$m\ddot{x} + b\dot{x} + kx = u_0\sqrt{b\omega^2 + k^2}\sin(\omega t + \beta), \quad (4.6)$$

kde β je fázový úhel mezi buzením u a silou $F_u(t)$ pružné a tlumící vazby s amplitudou

$$F_{u0} = u_0\sqrt{b\omega^2 + k^2}. \quad (4.7)$$

Jestliže se zavede sledování pohybu sedadla v čase

$$\tau = t + \frac{\beta}{\omega}, \quad (4.8)$$

přejde rovnice (4.7) do tvaru pohybové rovnice soustavy se silovým buzením

$$F_u(\tau) = F_{u0}\sin(\omega\tau), \quad (4.9)$$

Pohybová rovnice tvar pak bude mít tvar

$$m\ddot{x} + b\dot{x} + kx = F_{u0}\sin(\omega\tau) \quad (4.10)$$

a její řešení se předpokládá ve tvaru

$$x(\tau) = x_0\sin(\omega\tau - \psi), \quad (4.11)$$

kde x_0 je amplituda kmitavého pohybu a ψ je fázový úhel výchylky $x(\tau)$ vůči budící síle $F_u(\tau)$.

Po dosazení rovnice (4.11) do rovnice (4.10) vyjde

$$-mx_0\omega^2\sin(\omega\tau - \psi) + bx_0\omega\cos(\omega\tau - \psi) + kx_0\sin(\omega\tau - \psi) = F_{u0}\sin(\omega\tau). \quad (4.12)$$

Rovnice (4.12) musí platit v libovolném čase, tedy i pro

$$\omega\tau = \psi, \quad (4.13)$$

resp.

$$\omega\tau = 0 \quad (4.14)$$

Potom bude v prvním případě

$$bx_0\omega = F_{u0}\sin\psi \quad (4.15)$$

a ve druhém případě

$$(m\omega^2 - k)\sin\psi + b\omega\cos\psi = 0. \quad (4.16)$$

Z rovnice (4.16) vyjde

$$\operatorname{tg}\psi = \frac{\sin\psi}{\cos\psi} = \frac{b\omega}{k - m\omega^2} \quad (4.17)$$

a z rovnice (4.15)

$$x_0 = \frac{F_0\sin\psi}{b\omega}. \quad (4.18)$$

Po úpravě (4.18) bude

$$x_0 = \frac{F_{u0}}{\sqrt{b^2\omega^2 + (k - m\omega^2)^2}} = \frac{u_0\sqrt{b\omega^2 + k^2}}{\sqrt{b^2\omega^2 + (k - m\omega^2)^2}}. \quad (4.19)$$

Fázové posunutí φ obou výchylek u a x bude

$$\varphi = \psi - \beta. \quad (4.20)$$

Součinitel tlumení b lze vyjádřit pomocí relativního součinitele tlumení, pro který platí, že

$$b_{rel} = \frac{b}{b_{krit}}. \quad (4.21)$$

Ve vztahu (4.21) je b_{krit} tzv. kritické tlumení dané vztahem

$$b_{krit} = 2\sqrt{km}. \quad (4.22)$$

Rovnici (4.1), resp. (4.4), je možno za předpokladu, že

$$x = x_0 \sin(\omega t - \varphi) \quad (4.23)$$

přepsat tvaru

$$-mx_0\omega^2 \sin(\omega t - \varphi) + b[x_0\omega \cos(\omega t - \varphi) - u_0\omega \cos \omega t] + k[x_0 \sin(\omega t - \varphi) - u_0 \sin \omega t] = 0. \quad (4.24)$$

Nyní lze rovnici (4.24) řešit pro

$$t = 0 \quad (4.25)$$

a

$$\omega t - \varphi = 0. \quad (4.26)$$

Následně lze tak získat rovnice

$$mx_0\omega^2 \sin\varphi + b\omega(x_0 \cos \varphi - u_0) - kx_0 \sin\varphi = 0 \quad (4.27)$$

a

$$b\omega(x_0 - u_0 \cos \varphi) - ku_0 \sin \varphi = 0. \quad (4.28)$$

Řešením těchto rovnic lze dospět k výrazu (4.19), resp. (4.17).

Rovnici (4.4) je možno upravit rovněž do tvaru

$$m\ddot{x}_S + b\dot{x}_S + kx_S = -m\ddot{u}, \quad (4.29)$$

kde x_S je relativní výchylka sedadla. Platí tedy, že

$$x_S = x - u. \quad (4.30)$$

Po dosazení (4.5) bude

$$m\ddot{x}_S + b\dot{x}_S + kx_S = m\omega^2 u_0 \sin \omega t, \quad (4.31)$$

což je tvar (4.10) a lze využít formálně výsledků (4.17) a (4.18).

Pokud se uvažuje mechanicky ekvivalentní systém podle vztahu (4.10), kdy na sedadlo s řidičem o hmotnosti m působí harmonická síla $F_u(\tau)$, lze stanovit práci této síly za jednu periodu T_c ze vztahu

$$A = \int_0^{T_c} F_{u0} \sin(\omega\tau) x_0 \sin(\omega\tau - \psi) d\tau = \pi x_0 F_{u0} \sin\psi. \quad (4.32)$$

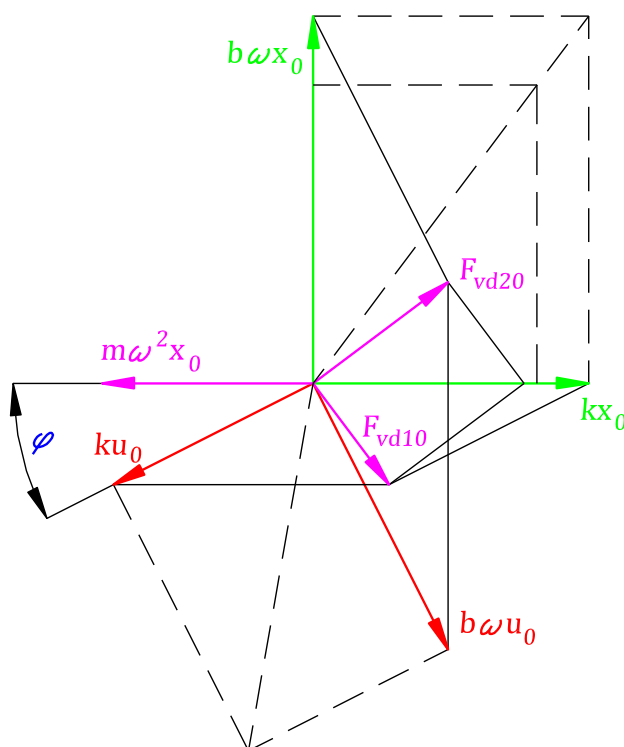
Tato práce se vynaloží během jednoho cyklu, představuje disipativní energii a ukazuje na intenzitu tlumení systému.

Z výrazu (4.32) vyplývá, že na disipaci energie se podílí složka síly $F_u(\tau)$, která je kolineární s vektorem rychlosti \dot{x} . Obecně lze tedy konstatovat, že pokud silová rovnováha vyjádřená pomocí rotujících vektorů obsahuje síly nebo složky ve směru vektoru rychlosti, dochází k maření energie a tedy k tlumení kmitavého pohybu systému. Pokud tomu tak není, jedná se o soustavu netlumenou.

4.1.2.2 Rotující vektory

V předcházejícím odstavci byly uvedeny tři možné způsoby řešení pohybové rovnice odpruženého sedadla řidiče s pneumatickou pružinou a hydraulickým tlumičem s linearizovanými parametry, tedy tuhost k a součinitel tlumení b pružícího podstavce byly za účelem zjednodušení řešení uvažovány jako konstantní.

S ohledem na další řešení problému tlumení pružícího podstavce sedadla řidiče je vhodné znázornit rovnici (4.1), resp. (4.4) pomocí rotujících vektorů, jejichž velikosti jsou amplitudami příslušných silových účinků Obr. 32.

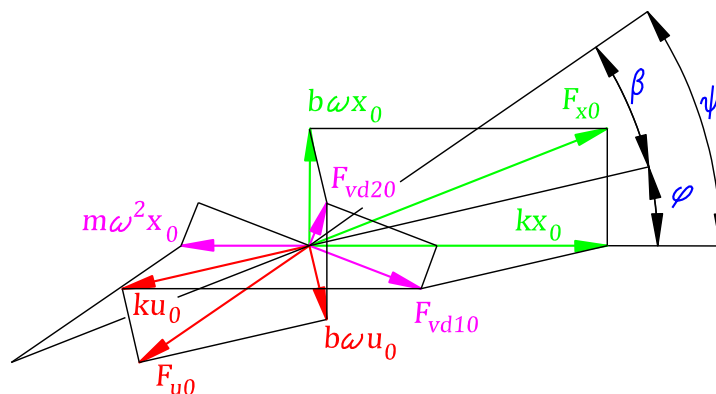


Zdroj: vlastní

Obr. 32 Síly působící na sedadlo s řidičem u pružícího podstavce s hydraulickým tlumením

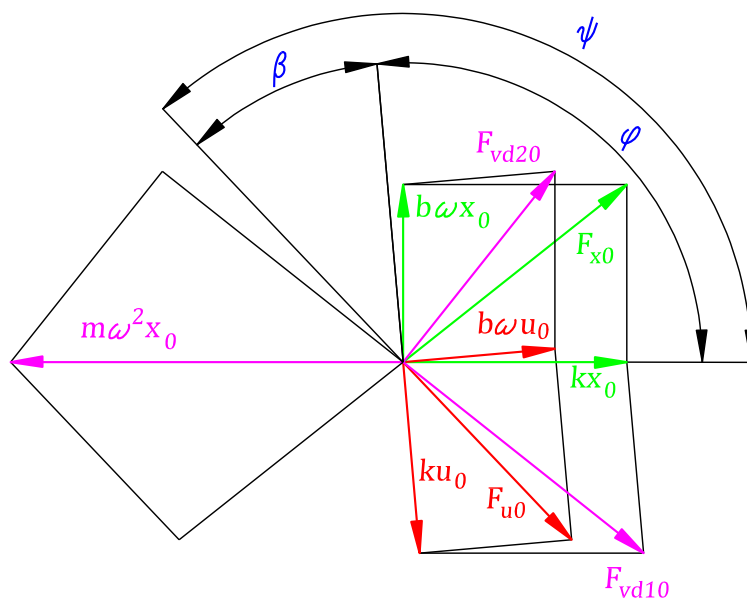
Podobně je možno zobrazit i rovnici (4.10) a sledovat silové poměry při zvětšujícím se fázovém posunutí ψ , resp. φ (Obr. 33), (Obr. 34) a (Obr. 35).

Pomocí rotujících vektorů lze znázornit silové poměry systému odpruženého sedadla řidiče i s ohledem na rovnici (4.31), kdy je řešení provedeno pomocí relativní souřadnice x_s (Obr. 36).



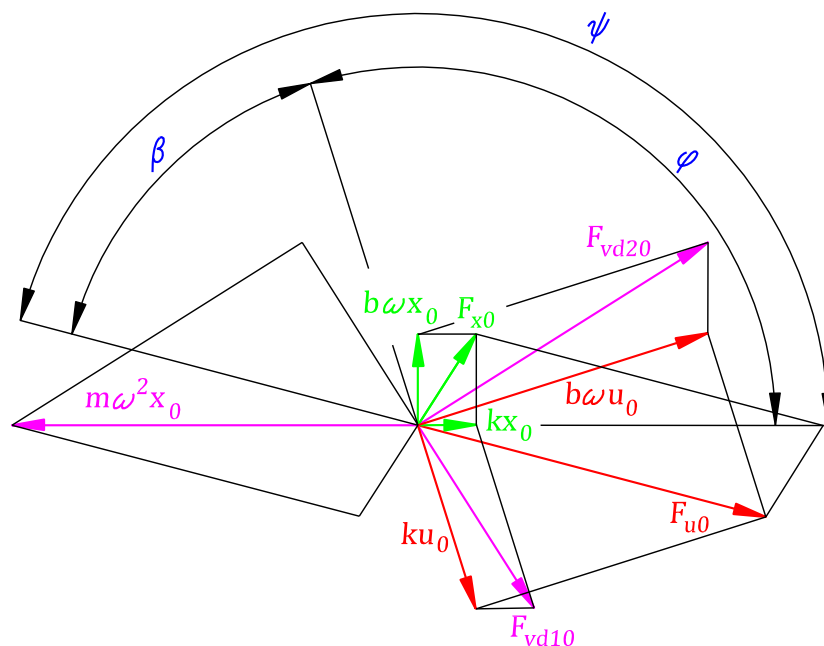
Zdroj: vlastní

Obr. 33 Rotující vektory silové rovnováhy kmitající soustavy sedadla řidiče s hydraulickým tlumením při fázovém posunutí $\varphi < \frac{\pi}{2}$ a $\psi < \frac{\pi}{2}$



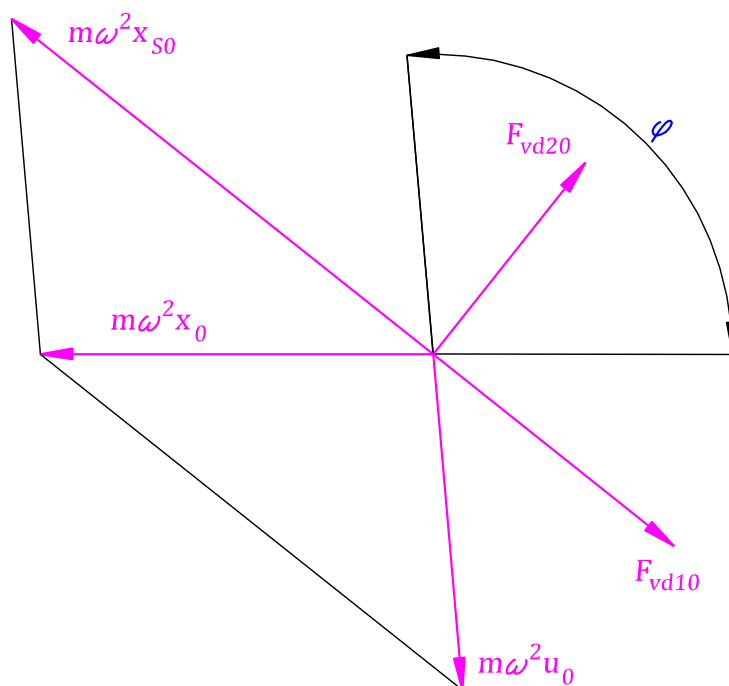
Zdroj: vlastní

Obr. 34 Rotující vektory silové rovnováhy kmitající soustavy sedadla řidiče s hydraulickým tlumením při fázovém posunutí $\varphi \approx \frac{\pi}{2}$ a $\psi > \frac{\pi}{2}$



Zdroj: vlastní

Obr. 35 Rotující vektory silové rovnováhy kmitající soustavy sedadla řidiče s hydraulickým tlumením při fázovém posunutí $\varphi > \frac{\pi}{2}$ a $\psi > \frac{\pi}{2}$

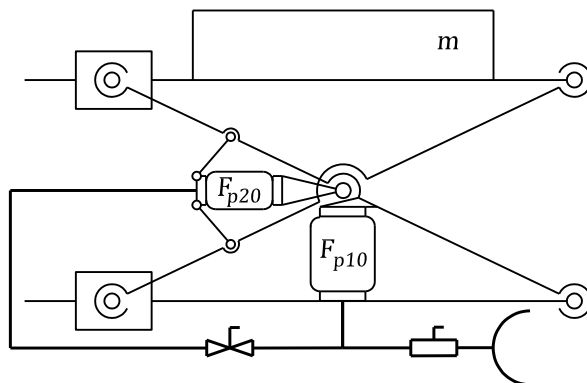


Zdroj: vlastní

Obr. 36 Rotující vektory silové rovnováhy kmitající soustavy sedadla řidiče s hydraulickým tlumením při zavedení relativní výchylky x_s

4.2 Tlumící systém se vzduchovým tlumením

V konstrukci tohoto tlumícího systému jsou v nůžkovém vodícím mechanismu zavěšeny dvě pneumatické pružiny, jejichž síly působí navzájem proti sobě. Nosná pružina 1 sedadlo zvedá, zatímco regulační pružina 2 se snaží výšku sedadla snížit. Pružiny jsou pneumaticky propojeny přes škrtkový ventil a v případě potřeby napájeny ze společného zdroje stlačeného vzduchu (Obr. 37).

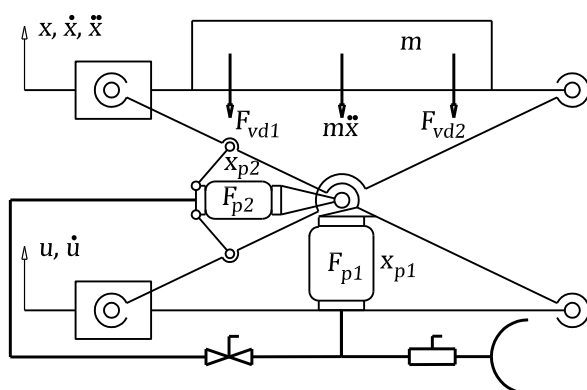


Zdroj: vlastní

Obr. 37 Podstata pružícího podstavce sedadla řidiče se vzduchovým tlumením

4.2.1 Mechanický model

V případě pružícího podstavce sedadla řidiče podle (Obr. 38) působí na sedadlo s řidičem vratná dynamická síla F_{vd1} od nosné pneumatické pružiny 1 daná dynamickou složkou její síly F_{p1} a silovým převodem i_1 určeným jejím zavěšením ve vodícím mechanismu. Obdobně je tomu s vratnou dynamickou silou F_{vd2} , kterou působí na sedadlo s řidičem regulační pneumatická pružina 2. V tomto případě je silový převod i_2 pružiny dán rovněž jejím zavěšením ve vodícím mechanismu. Během kmitavého pohybu sedadla se pružiny osově deformují, což je definováno souřadnicemi x_{p1} a x_{p2} . Geometrické parametry obou pneumatických pružin určují funkce efektivních ploch S_1 a S_2 a objemů V_1 a V_2 .



Zdroj: vlastní

Obr. 38 Silové poměry pružícího podstavce sedadla řidiče se vzduchovým tlumením

4.2.2 Dynamický výpočet

Zjištění dynamických vlastností pružícího podstavce se vzduchovým tlumením realizovaným dvěma pneumatickými pružinami se provede podobně jako v předcházející kapitole na základě řešení pohybových rovnic. V tomto případě je třeba zavést numerické řešení, neboť soustava pneumaticky spojených vzduchových pružin představuje již silně nelineární systém, který není možno linearizovat.

4.2.2.1 Pohybové rovnice

Pro dynamickou soustavu podle (Obr. 38) lze psát pohybovou rovnici ve tvaru

$$m\ddot{x} + F_{vd1} + F_{vd2} = 0 \quad (4.33)$$

a kinematické buzení je možno předpokládat opět jako

$$u = u_0 \sin \omega t \quad (4.34)$$

s ohledem na Fourierův rozklad periodické funkce.

Pro vratné dynamické síly F_{vd1} a F_{vd2} platí, že

$$F_{vd1} = -F_{d1} \quad (4.35)$$

a

$$F_{vd2} = -F_{d2}, \quad (4.36)$$

kde jsou dynamické síly definované jako

$$F_{d1} = F_1 - F_{10} \quad (4.37)$$

a

$$F_{d2} = F_2 - F_{20}. \quad (4.38)$$

Pro síly F_1 a F_2 , silové účinky pružícího podstavce jako celku, platí, že

$$F_1 = i_1 F_{p1} \quad (4.39)$$

a

$$F_2 = i_2 F_{p2}, \quad (4.40)$$

přičemž síly pneumatických pružin F_{p1} a F_{p2} jsou dány přetlaky p_{p1} a p_{p2} stlačeného vzduchu a jejich efektivními plochami S_1 a S_2 .

Tedy

$$F_{p1} = p_{p1} S_1 = (p_1 - p_a) S_1 \quad (4.41)$$

a

$$F_{p2} = p_{p2} S_2 = (p_2 - p_a) S_2, \quad (4.42)$$

kde p_a je atmosférický tlak.

Pro tlaky p_1 a p_2 stlačeného vzduchu v pneumatických pružinách za předpokladu izotermické změny stavu platí, že

$$p_1 = \frac{m_{v1} r T}{V_1} \quad (4.43)$$

a

$$p_2 = \frac{m_{v2} r T}{V_2}. \quad (4.44)$$

Ve vztazích (4.43) a (4.44) jsou r plynová konstanta, T absolutní teplota stlačeného vzduchu, m_{v1} a m_{v2} hmotnosti vzduchu v pneumatických pružinách, jejichž součet m_{v0} zůstává během kmitání sedadla konstantní.

Pro objemy pružin V_1 a V_2 platí vztahy

$$V_1 = V_{10} + \int_0^{x_{p1}} S_1 d\xi_{p1} \quad (4.45)$$

a

$$V_2 = V_{20} + \int_0^{x_{p2}} S_2 d\xi_{p2} \quad (4.46)$$

Ve vztazích (4.45) a (4.46) jsou V_{10} a V_{20} objemy při statické výšce a x_{p1} a x_{p2} jsou deformace pružin. Efektivní plochy S_1 a S_2 jsou dány regresními polynomy uvedenými na základě naměřených hodnot v katalogu pneumatických pružin.

Při zjišťování efektivní plochy pneumatické pružiny se měří současně zatěžující síla a přetlak. Z poměru těchto hodnot se stanovuje velikost efektivní plochy při příslušné deformaci pružiny.

Pro řešení kmitavého pohybu soustavy je třeba k pohybové rovnici (4.33) přidat průtokovou rovnici stlačeného vzduchu přes škrtkový prvek, která je diferenciální rovnicí prvního řádu a má tvar

$$\frac{dm_{v1}}{dt} = A_v c p_A \sqrt{\frac{2}{rT} \frac{\kappa}{\kappa - 1} \left[\left(\frac{p_B}{p_A} \right)^{\frac{2}{\kappa}} - \left(\frac{p_B}{p_A} \right)^{\frac{\kappa+1}{\kappa}} \right]}. \quad (4.47)$$

V této podobě platí pro podkritické proudění, kdy je

$$\frac{p_B}{p_A} \geq \beta^*. \quad (4.48)$$

Jinak je

$$\frac{dm_{v1}}{dt} = A_v c p_A \sqrt{\frac{2}{rT} \frac{\kappa}{\kappa + 1} \left(\frac{p_B}{p_A} \right)^{\frac{2}{\kappa-1}}}. \quad (4.49)$$

Kritický tlakový poměr β^* je dán vztahem

$$\beta^* = \left(\frac{2}{\kappa + 1} \right)^{\frac{2}{\kappa - 1}} \quad (4.50)$$

κ je Poissonova konstanta.

Dále značí c průtokový součinitel, A_v průřezový průřez škrťacího prvku a p_B větší z obou tlaků p_1 a p_2 stlačeného vzduchu v pneumatických pružinách.

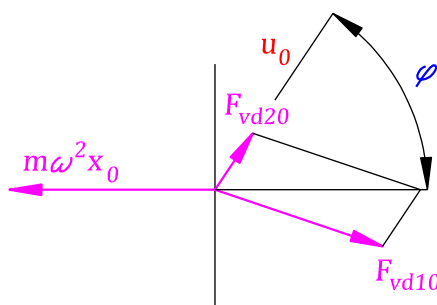
Z předešlého dále vyplývá, že

$$m_{v2} = m_{v0} - m_{v1}. \quad (4.51)$$

Disipativní energii A , podobně jako u systému s hydraulickým tlumením podle výrazu (4.32), nelze vzhledem k silné nelinearitě systému pružícího podstavce se dvěma pneumatickými pružinami vypočítat analyticky. K jejímu zjištění je třeba použít numerickou integraci hysterezní plochy funkční závislosti vratné dynamické síly působící na sedadlo, případně provést termodynamický výpočet energetických ztrát stlačeného vzduchu v pružícím systému.

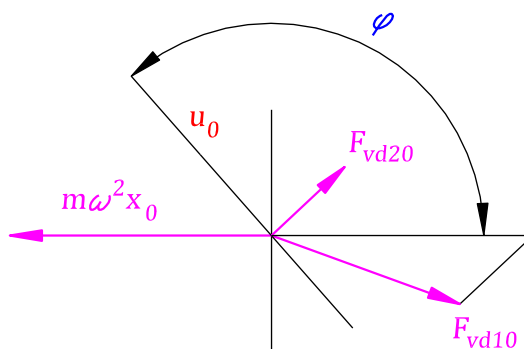
4.2.2.2 Rotující vektory

S ohledem na další řešení problému tlumení pružícího podstavce sedadla řidiče se dvěma pneumatickými pružinami lze znázornit rovnici (4.33) pomocí rotujících vektorů.



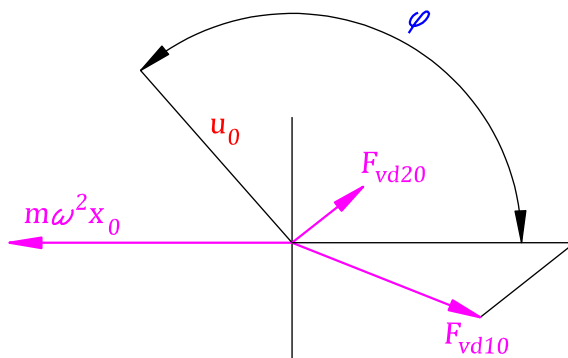
Zdroj: vlastní

Obr. 39 Rotující vektory silové rovnováhy kmitající soustavy sedadla řidiče se vzduchovým tlumením při budící frekvenci $f = 1$ Hz



Zdroj: vlastní

Obr. 40 Rotující vektory silové rovnováhy kmitající soustavy sedadla řidiče se vzduchovým tlumením při budící frekvenci $f = 2$ Hz



Zdroj: vlastní

Obr. 41 Rotující vektory silové rovnováhy kmitající soustavy sedadla řidiče se vzduchovým tlumením při budící frekvenci $f = 4 \text{ Hz}$

Ze silových poměrů kmitající soustavy sedadla řidiče podle *Obr. 39*, *Obr. 40* a *Obr. 41* lze s ohledem na výsledky z odstavce 4.2.1 lze vyvodit, že na sedadlo s řidičem o hmotnosti m působí dvě vratné dynamické síly F_{vd1} a F_{vd2} , první od nosné pružiny 1 a druhá od regulační pružiny 2. Tyto síly mají ve směru x , výslednici, která je v rovnováze se setrvačnou silou hmoty m sedadla a řidiče. Složky ve směru vektoru rychlosti konají disipativní práci.

4.2.3 Numerický výpočet a komparace systémů

Výše uvedená teoretická východiska a dynamické výpočty byly zpracovány pomocí numerických metod s aplikací programu MAPLE. Jednotlivé sestavené programy jsou v příloze této dizertační práce.

Oba systémy pružících podstavců, s hydraulickým a vzduchovým tlumením, byly následně za vybraných provozních podmínek porovnávány z hlediska vlastností a parametrů, které mají významný vliv na účinnou vibroizolaci řidiče a tlumení jeho kmitavého pohybu.

Pro oba systémy byly zvoleny srovnatelné vstupní parametry týkající se zejména hmotnosti m odpruženého sedadla a řidiče, byla zvolena hodnota $m = 100$ kg, vlastní frekvence Ω byly v rozsahu $\Omega = 0,7$ až $1,6$ Hz a harmonické buzení u mělo amplitudu výchylky $u_0 = 0,01$ m a frekvenci $f = 0,3$ až 5 Hz. Pro veličiny, které mají zásadní význam pro tlumení kmitavého pohybu, bylo v reálném rozsahu zvoleno vždy šest hodnot tak, aby bylo možno vliv příslušného parametru na vibroizolační systém optimalizovat.

Mezi kritérii hodnocení vlastností obou konstrukcí pružících podstavců byla prvořadá pozornost věnována amplitudovým frekvenčním charakteristikám výchylky a závislostem fázového úhlu buzení a odezvy, neboť ten je podle (4.32) jedním z rozhodujících parametrů tlumících účinků systému.

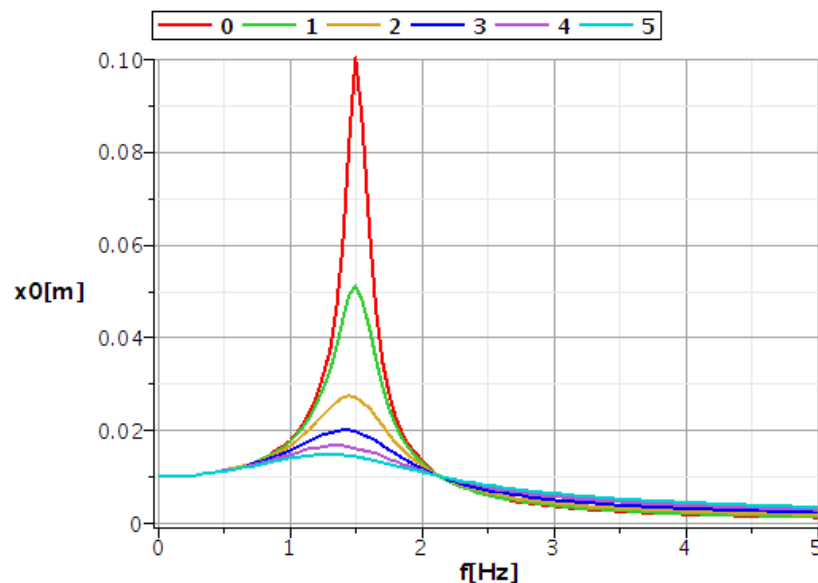
Z hlediska požadavků zdravotních a hygienických norem má z kinematických veličin zvláštní význam zrychlení těla řidiče. Vyhodnocení bylo provedeno podle standardních postupů vymezujících hladiny zrychlení působícího na sedícího člověka.

V poslední řadě byly kvantifikovány tlumící vlastnosti obou systémů pružících podstavců prostřednictvím hodnot disipované energie během jedné periody kmitavého pohybu sedadla.

4.2.3.1 Amplitudové a fázové frekvenční charakteristiky výchylky

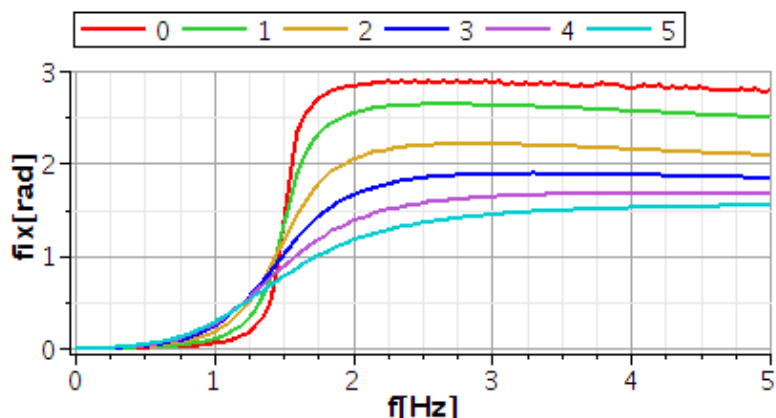
Numerický výpočet amplitudových a fázových frekvenčních charakteristik přináší základní pohled na oba vibroizolační systémy. Ukazuje na polohy rezonančních oblastí a vliv parametrů tlumení.

Na Obr. 42 a Obr. 43 jsou amplitudové a fázové frekvenční charakteristiky (0 až 5) výchylky systému sedadla řidiče s hydraulickým tlumením pro relativní tlumení $b_{rel} = 0,01$ až $0,5$.



Zdroj: vlastní

Obr. 42 Amplitudová frekvenční charakteristika výchyly pružícího podstavce s hydraulickým tlumením

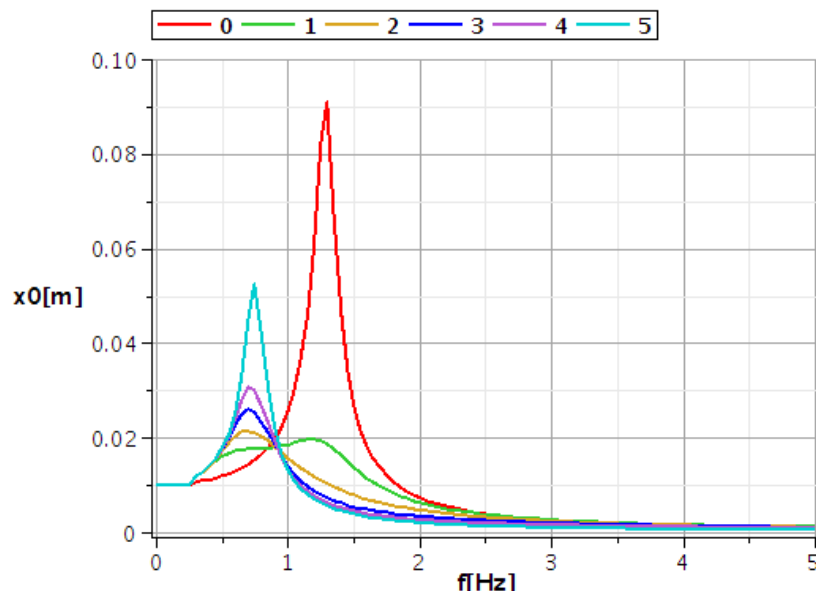


Zdroj: vlastní

Obr. 43 Fázová frekvenční charakteristika výchyly pružícího podstavce s hydraulickým tlumením

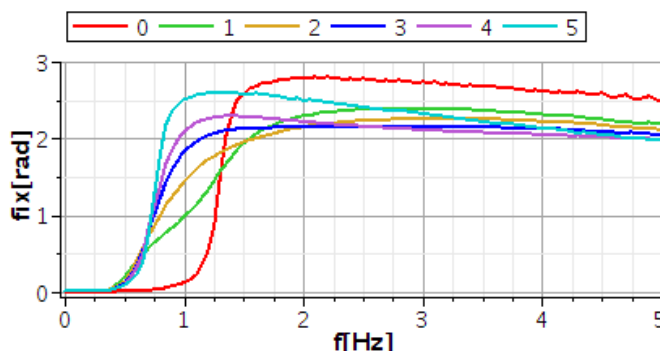
Z uvedených frekvenčních charakteristik vyplývá, že sedadlo řidiče s hydraulickým tlumením vykazuje jednu výraznou rezonanční frekvenci a vyžaduje v této oblasti relativně intenzivní tlumení s hodnotou relativního tlumení $b_{rel} = 0,3$ až $0,4$ (charakteristiky 3 a 4). Mimo oblasti rezonance má však velká hodnota součinitele tlumení negativní vliv, neboť značně zvyšuje amplitudu zrychlení sedadla. Z toho důvodu je třeba v mimorezanančních oblastech účinek hydraulického tlumiče výrazně oslabit, což přináší konstrukční komplikace.

Na Obr. 44 a Obr. 45 jsou amplitudové a fázové frekvenční charakteristiky (0 až 5) výchylky systému sedadla řidiče se vzduchovým tlumením pro zcela uzavřené (0) pneumatické spojení nosné a regulační pružiny, pro průměr průtočného otvoru škrtícího prvku pneumatického spojení $d_v = 1$ až 3 mm (1 až 4) a pro zcela otevřené pneumatické spojení (5).



Zdroj: vlastní

Obr. 44 Amplitudová frekvenční charakteristika výchylky pružícího podstavce se vzduchovým tlumením



Zdroj: vlastní

Obr. 45 Fázová frekvenční charakteristika výchylky pružícího podstavce se vzduchovým tlumením

Frekvenční charakteristiky sedadla řidiče se vzduchovým tlumením se vyznačují dvěma výraznými rezonančními oblastmi. První rezonance odpovídá stavu bez škrcení pneumatického spojení nosné a regulační pružiny, kdy stlačený vzduch proudí bez významného odporu mezi pružinami. Zde se jedná o tzv. diferenční zapojení pneumatických pružin. Druhá rezonance naopak přísluší uzavření pneumatického spojení, kdy pružiny působí v systému zcela nezávisle. Zde se jedná o tzv. dvojčinné zapojení pneumatických pružin. Obě rezonanční oblasti lze výrazně potlačit nastavením průměru průtočného otvoru škrtícího prvku, například na hodnotu $d_v = 1,4$ až $1,8$ mm (charakteristiky 2 a 3).

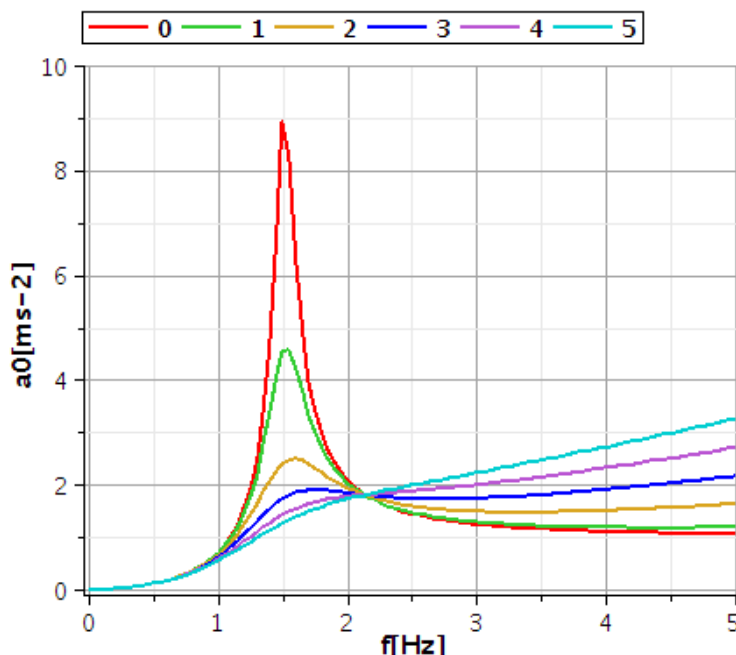
4.2.3.2 Amplitudové frekvenční charakteristiky zrychlení

Zrychlení kmitavého pohybu člověka má mimořádný význam jako kritérium kvality vibroizolace. Zdravotní výzkumy v minulých letech jednoznačně prokázaly škodlivý vliv zrychlení na lidské zdraví. Nejen vnitřní orgány, ale i končetiny a smysly, jsou namáhány setrvačnými silami způsobenými zrychlením při kmitavém pohybu. Existuje řada hygienických norem, které se touto problematikou zabývají a definují přípustné časové expozice člověka nepříznivým vibracím.

Na Obr. 46 jsou frekvenční charakteristiky (0 až 5) zrychlení sedadla řidiče s hydraulickým tlumením opět pro relativní tlumení $b_{rel} = 0,01$ až 0,5.

Ukazuje se, že vyšší hodnoty tlumení mají pro zmenšení výchylky kmitavého pohybu řidiče v rezonanční oblasti (Obr. 42) pozitivní význam, pro zrychlení v nadrezonanční oblasti je tomu ale právě naopak, větší tlumení znamená větší amplitudy zrychlení (Obr. 46), což vede k nežádoucím účinkům na zdraví řidiče.

Nutná změna parametrů tlumení, kterými mohou být součinitel hydraulického tlumení b nebo převod i_2 definovaný závěsem hydraulického tlumiče ve vodícím mechanismu, vede k relativně komplikovaným zásahům do konstrukce pružícího podstavce a zvyšuje cenu sedadla. Systémy, které se v praxi objevují a řeší tento problém, jsou založeny například na mechanickém ovládání průtoku kapaliny v hydraulickém tlumiči, na změně polohy závěsu tlumiče ve vodícím mechanismu nebo na využití magnetoreologické kapaliny umožňující změnu viskozity.



Zdroj: vlastní

Obr. 46 Amplitudová frekvenční charakteristika zrychlení pružícího podstavce s hydraulickým tlumením

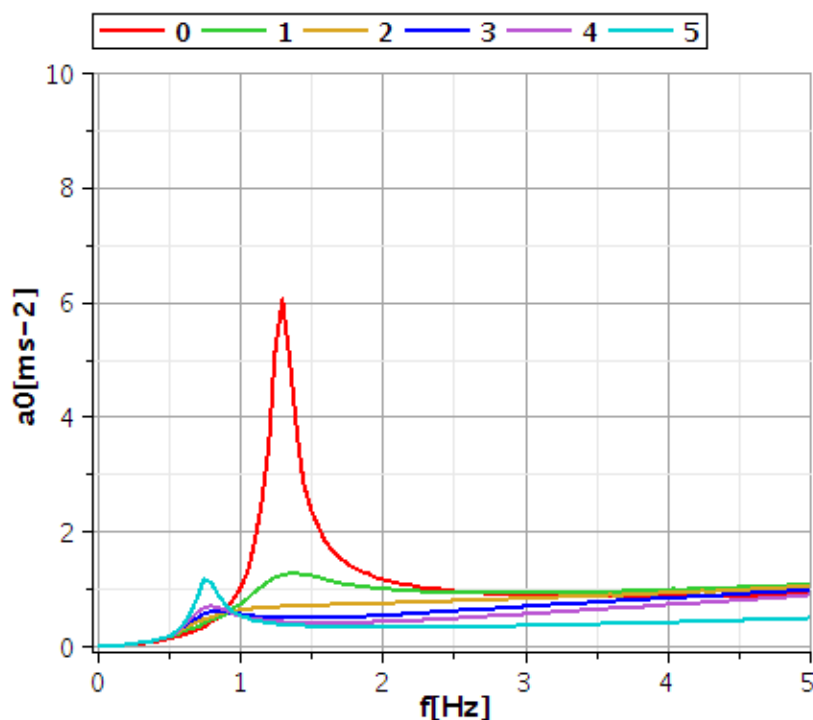
Na Obr. 47 jsou amplitudové frekvenční charakteristiky (0 až 5) zrychlení systému sedadla řidiče se vzduchovým tlumením opět pro zcela uzavřené (0) pneumatické spojení nosné a regulační pružiny, pro průměr průtočného otvoru škrtícího prvku pneumatického spojení $d_v = 1$ až 3 mm (1 až 4) a pro zcela otevřené pneumatické spojení (5).

Ve srovnání s amplitudovými frekvenčními charakteristikami zrychlení kmitavého pohybu sedadla s hydraulickým tlumením lze konstatovat zásadní odlišnosti zejména v absolutní velikosti amplitud a v jejich minimálním nárůstu v závislosti na frekvenci.

Tato skutečnost značně zjednodušuje konstrukci pružícího podstavce s ohledem na regulaci tlumení. Vzduchové tlumení se v zásadě reguluje samo.

Fyzikální představa tohoto jevu spočívá v tom, že při vyšší frekvenci kmitů se zvyšuje rychlost proudění stlačeného vzduchu přes škrtící prvek a tím se zvětšuje i jeho průtokový odpor až do míry jeho praktického uzavření. Potom se systém chová teoreticky jako netlumený s uzavřeným pneumatickým spojením nosné a regulační pružiny, o čemž svědčí sblížování frekvenčních charakteristik zrychlení (Obr. 47).

I když princip obou srovnávaných systémů tlumení je založen na škrceném průtoku média, je uvedená vlastnost systému pružícího podstavce sedadla řidiče se vzduchovým tlumením hlavní odlišností od systémů založených na hydraulickém tlumení, které pracují s nestlačitelnou kapalinou.



Zdroj: vlastní

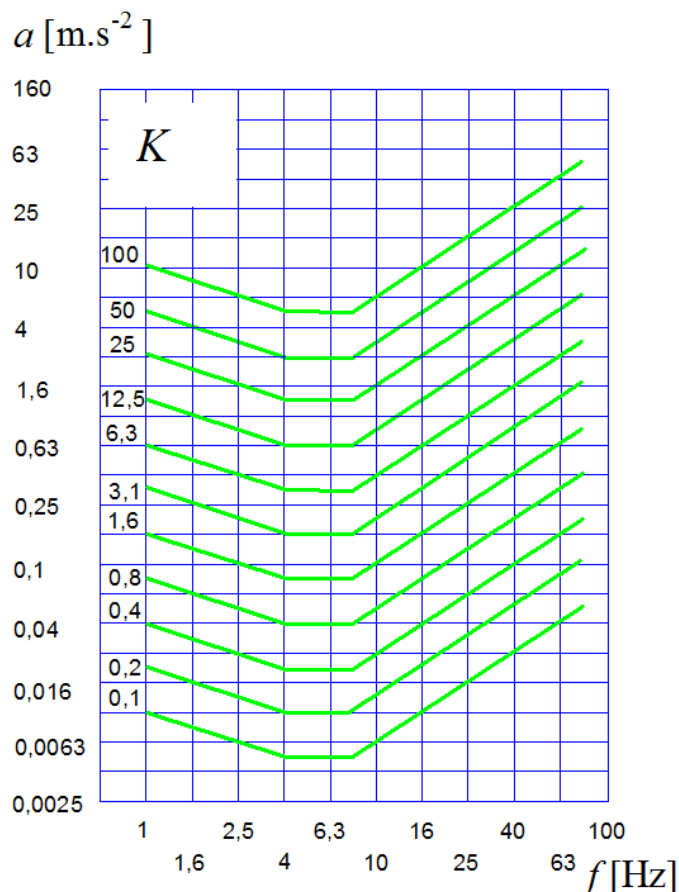
Obr. 47 Amplitudová frekvenční charakteristika zrychlení pružícího podstavce se vzduchovým tlumením

4.2.3.3 Součinitel mezních hodnot expozičních sedícího člověka vibracím

Výrobci sedadel řidiče se při hodnocení účinnosti vibroizolace sedadla obvykle řídí svými interními postupy, které jsou dány měřeními vibrací sedadla na zkušebním zařízení, kde kinematické buzení je dáno signálem naměřených vibrací při jízdě příslušného vozidla na zkušební trati nebo příslušného zařízení za provozu. Jedná se všeobecně o porovnávání hodnot amplitud výchylek nebo zrychlení s hodnotami získanými při zkouškách dříve vyráběných modelů sedadel. Do jisté míry je tento postup oprávněný, neboť s ohledem na složitost problematiky buzení neexistuje univerzální postup hodnocení sedadel.

Na, který zahrnuje vliv amplitudy a frekvence zrychlení vibrací a doby expozice sedící osoby těmto nepříznivým vlivům.

V dizertační práci bylo pro porovnání dvou systémů tlumení, hydraulického a vzduchového, využito součinitele K , který zahrnuje vliv amplitudy a frekvence zrychlení vibrací a doby expozice sedící osoby těmto nepříznivým vlivům. Velikost tohoto součinitele byla v minulých letech stanovena na základě zdravotních výzkumů a jeho mezní hodnoty jsou uvedeny v hygienických normách (Obr. 48).

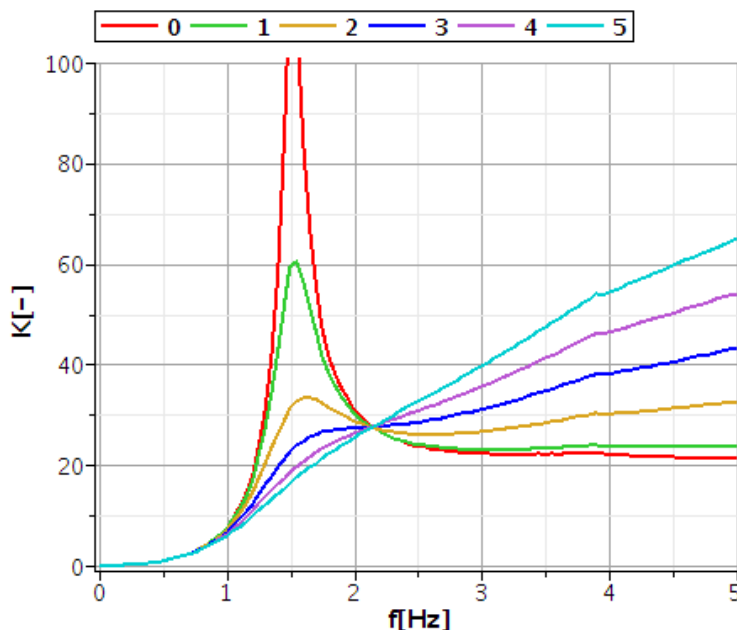


Zdroj: vlastní

Obr. 48 Součinitel K zrychlení pružícího podstavce s hydraulickým tlumením

Mezní čáry diagramu na *Obr. 48* byly zpracovány do funkčních závislostí součinitele K na amplitudě a frekvenci zrychlení sedadla a zavedeny do numerického výpočtu dynamiky obou typů sedadel.

Na *Obr. 49* jsou znázorněny závislosti (0 až 5) součinitele K sedadla řidiče s hydraulickým tlumením opět pro relativní tlumení $b_{rel} = 0,01$ až 0,5. Potvrzuje se, že vliv hydraulického tlumení v oblasti vyšších budících frekvencí je značně negativní. Velikost součinitele K pro běžné hodnoty relativního součinitele tlumení b_{rel} narůstá lineárně v závislosti na frekvenci s poměrně velkým gradientem.



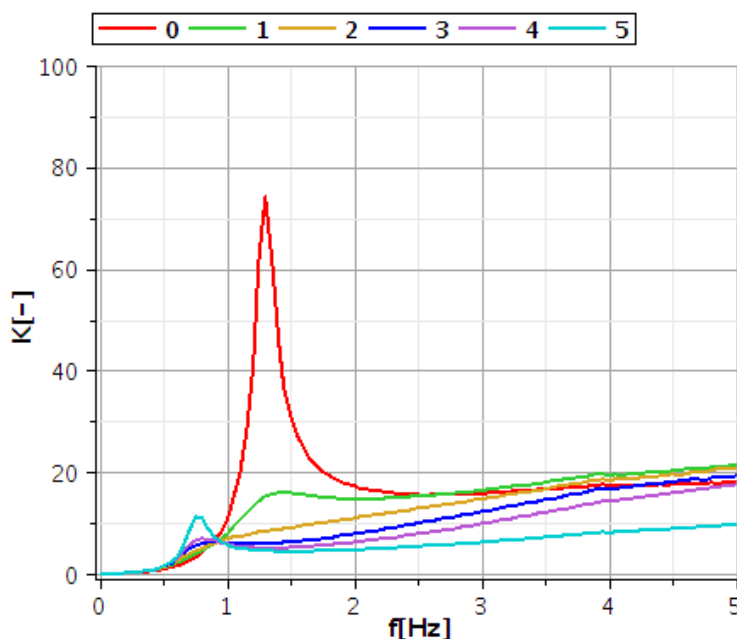
Zdroj: vlastní

Obr. 49 Součinitel K zrychlení pružícího podstavce s hydraulickým tlumením

Na *Obr. 50* jsou znázorněny závislosti (0 až 5) součinitele K sedadla řidiče se vzduchovým tlumením opět pro zcela uzavřené (0) pneumatické spojení nosné a regulační pružiny, pro průměr průtočného otvoru škrtkovacího prvku pneumatického spojení $d_v = 1$ až 3 mm (1 až 4) a pro zcela otevřené pneumatické spojení (5).

V tomto případě je vliv velikosti budící frekvence na velikost součinitele K relativně malý jak z hlediska absolutních hodnot, tak i z hlediska gradientu.

Posouzení obou systémů tlumení sedadel řidiče na základě kritéria daného součinitelem K a vycházejícího z dlouhodobých zdravotních výzkumů upřednostňuje jednoznačně vzduchové tlumení řešené koncepcí před tlumením hydraulickým.



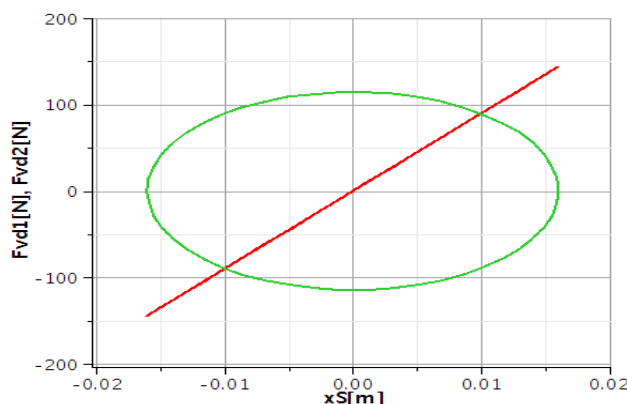
Zdroj: vlastní

Obr. 50 Součinitel K pružícího podstavce se vzduchovým tlumením

4.2.3.4 Energie disipovaná tlumícím systémem

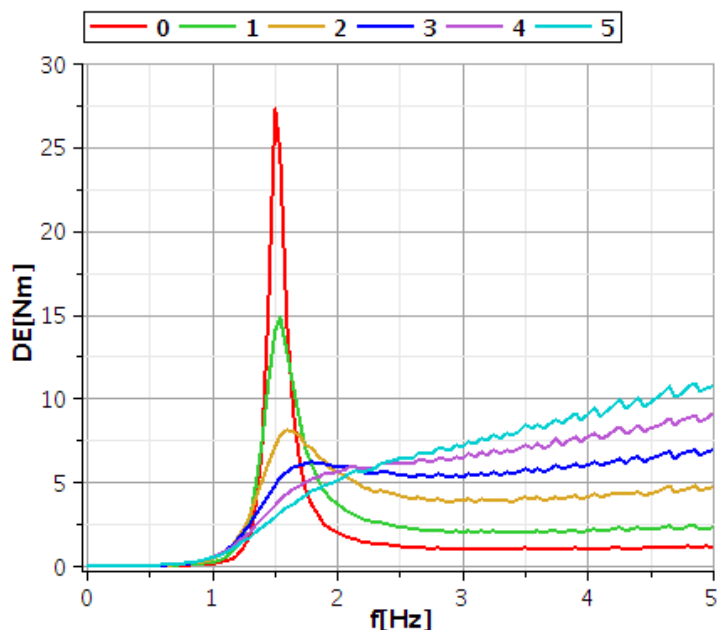
Velikost energie disipované během jedné periody kmitavého pohybu je podle (4.32) závislá na amplitudě kmitavého pohybu a složce vnější síly působící na sedadlo řidiče kolineární s vektorem rychlosti. Tato skutečnost vyžaduje, aby vektory sil působících na sedadlo neležely na jedné přímce se setrvačnou silou (odst. 4.1.2.2 a odst. 4.2.2.2).

Velikost disipované energie systému s hydraulickým tlumením lze stanovit numerickým výpočtem ploch hysterezních křivek vratných dynamických sil F_{vd1} a F_{vd2} . Vzhledem k tomu, že síla F_{vd1} je silou linearizované nosné pružiny, je její hysterezní plocha nulová a disipovanou energii systému DE určuje hysterezní křivka síly F_{vd2} tlumiče v závislosti na relativní výchylce sedadla x_s (Obr. 52).



Zdroj: vlastní

Obr. 51 Závislosti vratných dynamických sil F_{vd1} a F_{vd2} na změně x_s výšky pružícího podstavce sedadla s hydraulickým tlumením



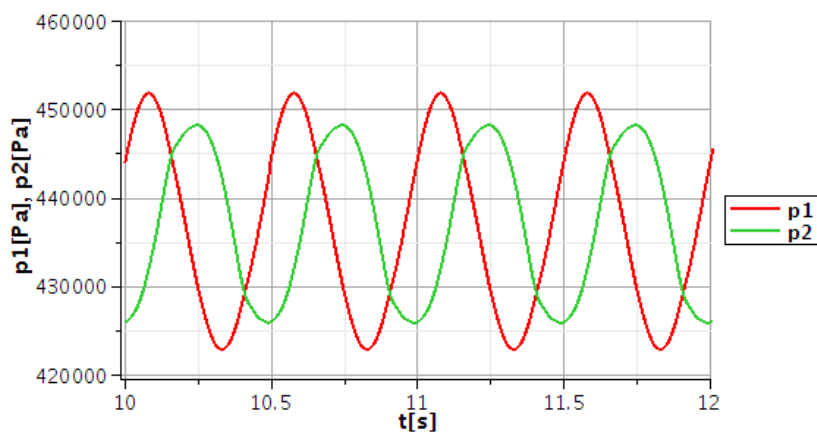
Zdroj: vlastní

Obr. 52 Disipovaná energie pružícího podstavce s hydraulickým tlumením

Závislost disipované energie DE systému s hydraulickým tlumením během jedné periody znázorňuje Obr. 52. Ukazuje se, že největší hodnoty jsou v oblasti rezonance a v nadrezonanční oblasti narůstají se zvyšující se frekvencí.

Protože k disipaci energie dochází pouze při působení na síly tlumiče F_{vd2} na sedadlo, potvrzuje se nepříznivý účinek hydraulického tlumení v nadrezonanční oblasti.

Zatímco u systému pružícího podstavce s hydraulickým tlumením je vzájemná poloha vratných dynamických sil pružiny a tlumiče F_{vd1} a F_{vd2} dána vektory výchylky a rychlosti, které svírají úhel 90° , v případě vzduchového tlumení je tento úhel dán škrcením pneumatického spojení nosné a regulační pružiny pružícího podstavce, tedy fázovým posuvem časových průběhů tlaků p_1 a p_2 stlačeného vzduchu v pružinách (Obr. 53).

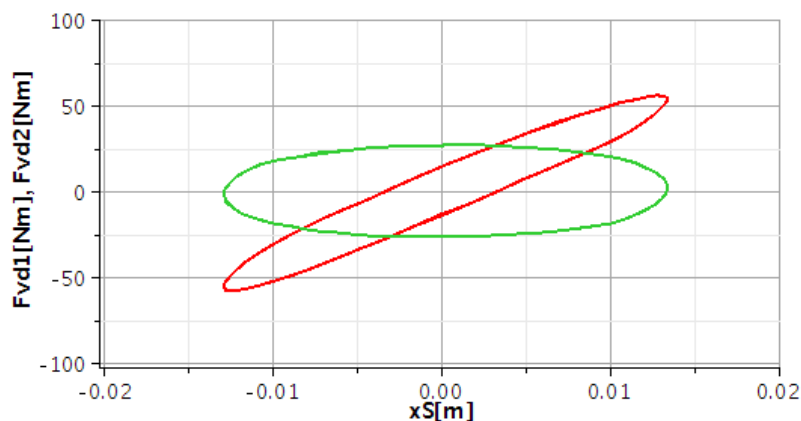


Zdroj: vlastní

Obr. 53 Časové průběhy tlaků p_1 a p_2 v pneumatických pružinách

Fázový posuv časových průběhů tlaků p_1 a p_2 se mění v závislosti na škrcení průtoku stlačeného vzduchu mezi nosnou a regulační pneumatickou pružinou od hodnoty 0° až hodnotu 180° . Při prvním extrému je škrcení průtoku zcela vyraženo a tlaky p_1 a p_2 mají shodný časový průběh. Ve druhém extrémním případě je pneumatické spojení obou pružin uzavřeno a časové průběhy tlaků p_1 a p_2 jsou v protifázi.

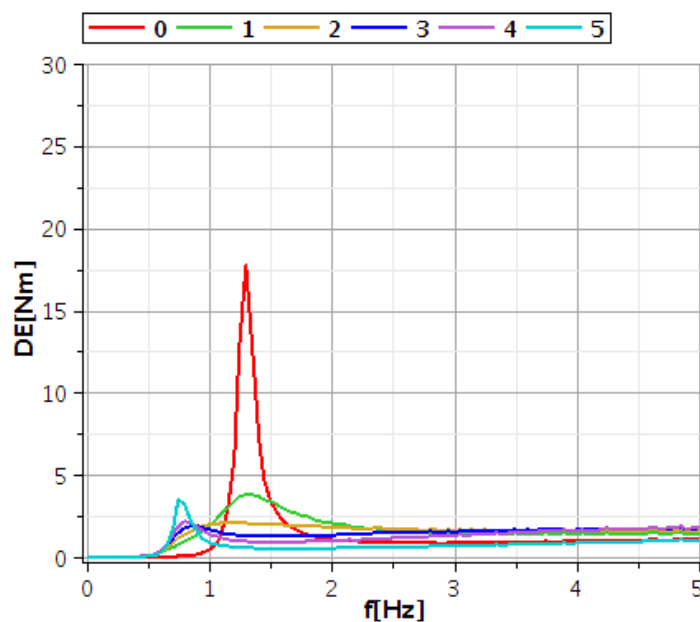
Velikost disipované energie systému se vzduchovým tlumením lze podobně jako v předcházejícím případě stanovit numerickým výpočtem ploch hysterezních křivek závislosti vratných dynamických sil F_{vd1} a F_{vd2} na relativní výchylce sedadla x_s (Obr. 54).



Zdroj: vlastní

Obr. 54 Závislosti vratných dynamických sil F_{vd1} a F_{vd2} na změně x_s výšky pružícího podstavce sedadla se vzduchovým tlumením

Závislost disipované energie DE systému se vzduchovým tlumením během jedné periody znázorňuje (Obr. 55). Ukazuje se, že pro vhodně zvolený průměr průtokového otvoru škrtícího prvku zůstává disipovaná energie v mimorezonančních oblastech nízká a téměř konstantní, nezávislá na budící frekvenci.

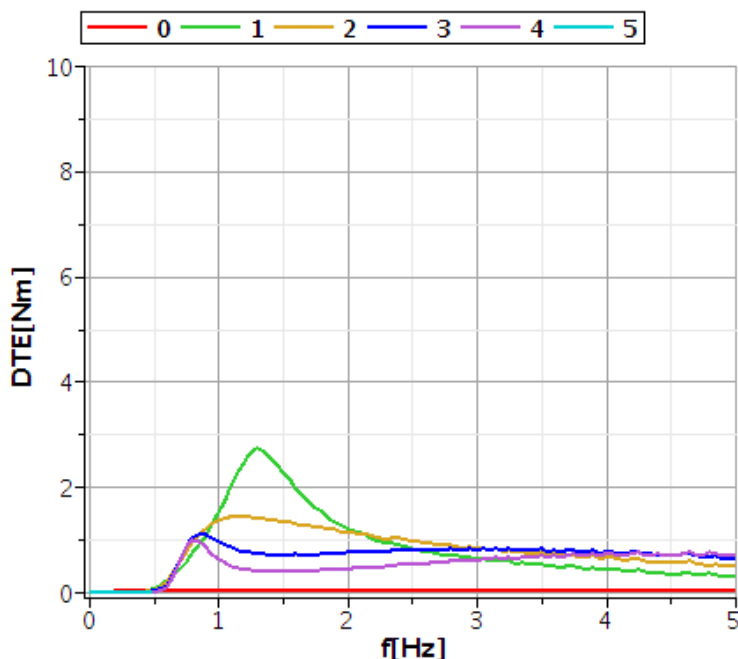


Zdroj: vlastní

Obr. 55 Disipovaná energie pružícího podstavce se vzduchovým tlumením

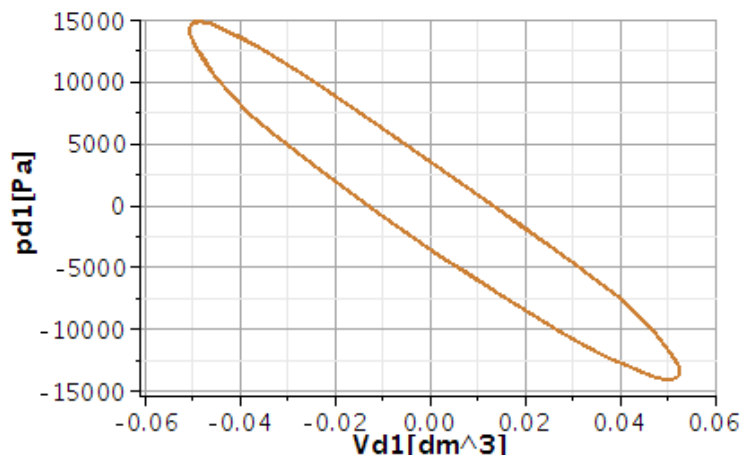
Disipovaná energie DE pružícího podstavce se vzduchovým tlumením je tvořena dvěma složkami, z nichž podstatná je složka DTE (Obr. 56) daná ztrátami tlakové energie při nevratných termodynamických změnách stavu stlačeného vzduchu v pneumatických pružinách 1 a 2. Na Obr. 57 a Obr. 58 znázorněny $p - V$ diagramy příslušející izotermické kompresi a expanzi stlačeného vzduchu v každé z obou pružin za předpokladu jejich pneumatického spojení přes škrťací prvek.

Druhá složka přísluší konstrukčnímu tlumení, jehož velikost byla zvolena ve výpočtových simulacích na úrovni $b_{rel} = 0,01$ a její význam je patrný ze srovnání Obr. 55 a Obr. 56.



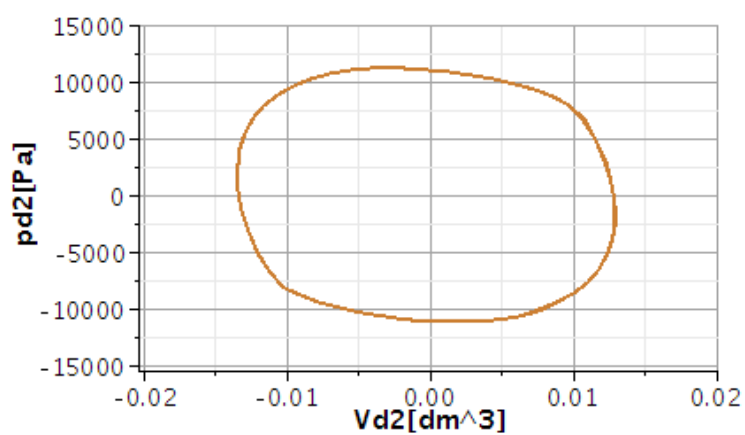
Zdroj: vlastní

Obr. 56 Podíl termodynamických ztrát stlačeného vzduchu na disipované energii pružícího podstavce se vzduchovým tlumením



Zdroj: vlastní

Obr. 57 Podíl termodynamických ztrát stlačeného vzduchu pružiny 1 na disipované energii pružícího podstavce se vzduchovým tlumením



Zdroj: vlastní

Obr. 58 Podíl termodynamických ztrát stlačeného vzduchu pružiny 2 na disipované energii pružícího podstavce se vzduchovým tlumením

5 Konstrukce prototypu sedadla se vzduchovým tlumením

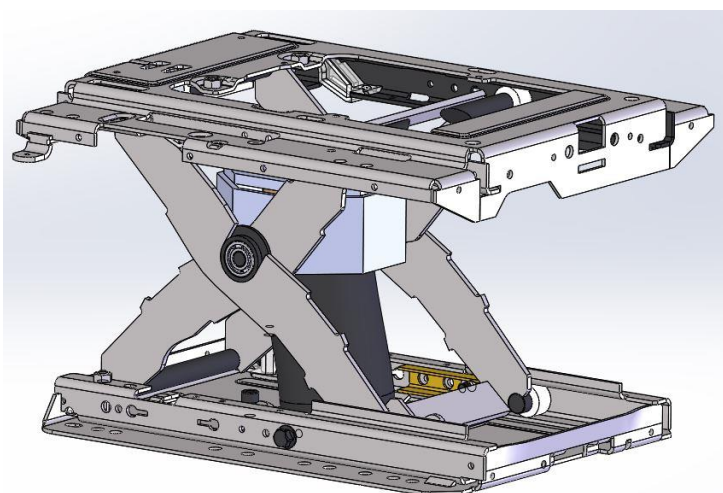
Požadavky na konstrukci odpruženého podstavce, který je primárně určen pro sedadla nákladních vozidel, autobusů, traktorů a některých pracovních strojů, kde dochází ke změně charakteru buzení během provozu (změny terénu), u kterého se předpokládá střední hodnota relativních výchylek sedadla, jsou zpravidla možnost nastavení statické výšky a nízká zástavbová výška.

Předpokladem pro splnění očekávané funkce vzduchového tlumení je zajištění nuceného přepouštění stlačeného vzduchu z prostoru nosné pružiny do regulační pružiny a zpět.

Konstrukční úlohou se stává volba typu pneumatických pružin, jejich umístění v mechanismu a vzájemné mechanické propojení opěrných desek pružin pomocí táhel a čepů rotačními a posuvnými vazbami při respektování podmínek správné funkce zvolených pružin. Součástí konstrukčního návrhu je návrh pneumatického obvodu, který obsahuje klíčový prvek způsobující tlakovou ztrátu uvnitř obvodu.

5.1 Vodící mechanismus

Vzhledem k současnému trendu vývoje v oblasti konstrukce odpružených sedadel byl zvolen jako výchozí nůžkový vodící mechanismus. Vlastnosti mechanismu jsou popsány v kapitole 3.1.4. Vyznačuje se zejména nízkou zástavbovou výškou, možností nastavení statické výšky a možností pohybu pouze v jedné ose. Aby nebylo nutné navrhovat kompletní konstrukci mechanismu, byl zvolen jako základ pružící podstavec firmy Grammer. Z konstrukce byly odstraněny díly, které přímo nesouvisí s funkcí nůžkového mechanismu. Nosná pneumatická pružina a opěrná deska, která je připevněna v místě křížení ramen nůžkového mechanismu, jsou v sestavě ponechány (*Obr. 59*). Na základě uvedených podmínek je v následujících kapitolách představeno několik možností umístění regulační pružiny

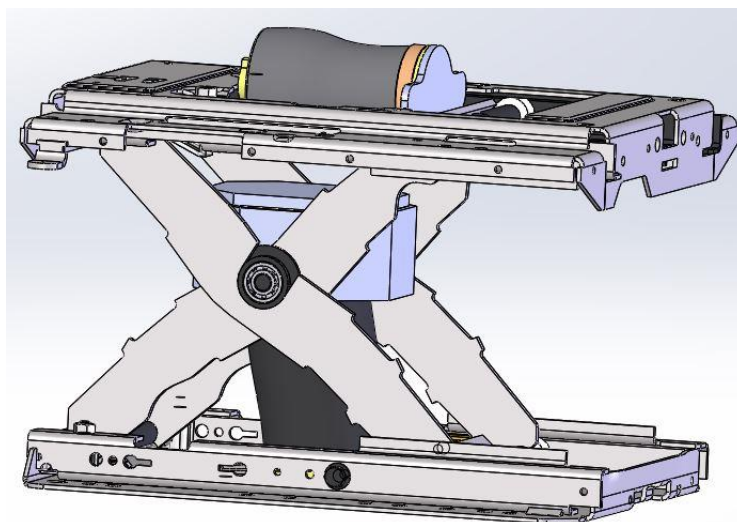


Zdroj: vlastní

Obr. 59 Sériově vyráběný podstavec pneumaticky odpruženého sedadla řidiče firmy Grammer ve výchozí podobě před modifikací

5.1.1 Mechanismus s regulační pružinou mezi rameny

Z hlediska nejmenšího počtu doplňujících prvků mechanismu je instalace regulační pružiny horizontálně mezi ramena nůžkového mechanismu nad nosnou pružinu (Obr. 60).



Zdroj: vlastní

Obr. 60 Sériově vyráběný podstavec pneumaticky odpruženého sedadla řidiče firmy Grammer s horizontálně umístěnou regulační pružinou mezi rameny nůžkového mechanismu nad nosnou pružinou

Tento koncept vyhovuje požadavku nuceného přepouštění vzduchu. Jeho výhodou je jednoduchost, nízký počet doplňujících dílů, což je výhodné, že do mechanismu není výhledově s jeho opotřebením vnášena další vůle ve vazbách. V návaznosti na počet dílů je dalším faktorem i nízká cena modifikace.

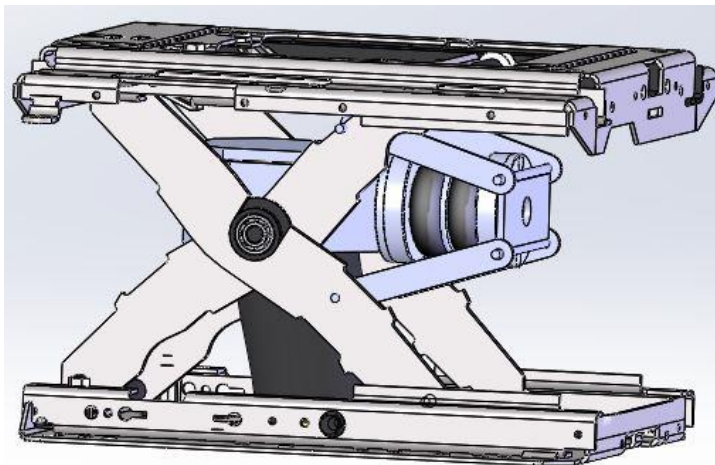
Nevýhodou konceptu je vysoká zástavbová výška nebo nutnost zakomponování regulační pružiny do prostoru pod sedákem, nebo do úrovně připojovací roviny sedadla ke karoserii vozidla, v případě umístění regulační pružiny pod nosnou pružinu. Další nevýhodou jsou nároky na zdvih regulační pružiny.

5.1.2 Mechanismus s regulační pružinou uvnitř mechanismu

Regulační pružinu je možné umístit do stávajícího mechanismu takovým způsobem, že jedna její příruba je opřena o uložení horní příruby nosné pružiny - v centrální ose mechanismu - a druhá deska je pomocí táhel připojena k ramenům (Obr. 61).

Tento koncept zachovává nízkou zástavbovou výšku původní konstrukce. Délkou jednotlivých párů táhel lze v určitém rozsahu nastavit převodový poměr mezi nosnou a regulační pružinou.

Se zvolenou polohou pružiny přibíhá táhla a čepy, které zajišťují propojení s táhly. S tím se zvyšuje riziko výskytu vůlí mechanismu následkem opotřebení vazeb. Možné vůle mohou způsobit odchylku od stanoveného převodového poměru a hlučnost při změně vektoru pohybu ve vratných úvratích pohybu. Umístění regulační pružiny zvyšuje namáhání centrálního čepu nůžkového mechanismu. Objem regulační pružiny je omezen prostorem uvnitř mechanismu.

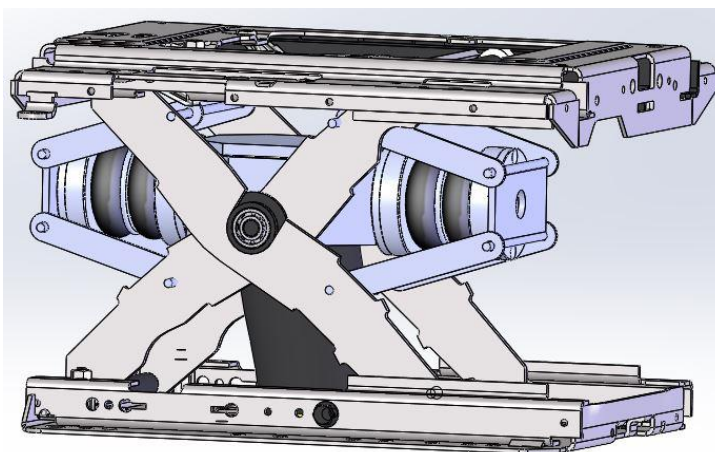


Zdroj: vlastní

Obr. 61 Sériově vyráběný podstavec pneumaticky odpruženého sedadla řidiče firmy Grammer doplněný o horizontálně umístěnou regulační pružinu vedle nosné pružiny doplněn táhly k dosažení požadovaného mechanického převodu mezi pružinami

5.1.3 Mechanismus s dvojicí regulačních pružin uvnitř mechanismu

Navržený koncept vychází z předchozí modifikace. Je rozšířen o další regulační pružinu, která je do mechanismu zavěšena z druhé strany (Obr. 62). Vlastnosti obou konceptů jsou podobné. Navzdory zvýšení počtu táhel a tím počtu rotačních vazeb je eliminováno předchozí dodatečné zatížení centrálního čepu nůžkového mechanismu k nule. Předpokládá se, že budou použity totožné regulační pružiny, ale není to podmínkou. Tímto rozšířením je možné výhledově doplnit pneumatický obvod o další prvek pro úpravu způsobující tlakovou ztrátu uvnitř obvodu a tím sestavu optimalizovat pro další provozní režimy.

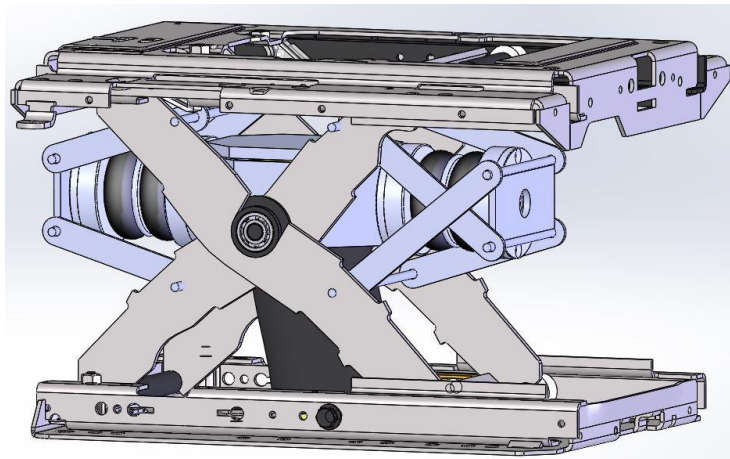


Zdroj: vlastní

Obr. 62 Sériově vyráběný podstavec pneumaticky odpruženého sedadla řidiče firmy Grammer doplněný o pár horizontálně umístěných regulačních pružin vedle nosné pružiny a táhly k dosažení požadovaného mechanického převodu mezi pružinami

Dle výše uvedených výhod a možností rozšíření konstrukce o další funkce byla zvolena tato varianta jako výchozí pro konstrukci prototypu.

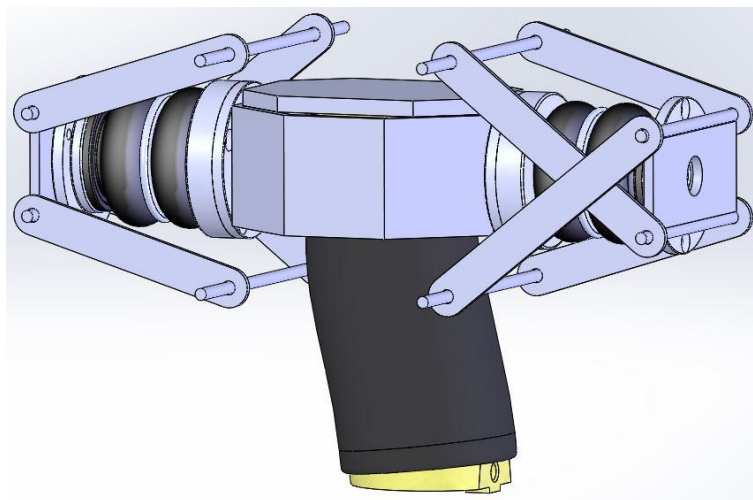
Pneumatické pružiny se vyznačují tím, že mezi jejími přírubami je při správném umístění pouze stlačený vzduch. Pryžkordový vlnovec, rukáv, či membrána udržují pouze stlačený vzduch v definovaném prostoru. Tato vlastnost se využívá při eliminaci přenosu vibrací - vibroizolaci. Stabilita pneumatické pružiny ve směru kolmém na osu zatížení je závislá na přetlaku uvnitř pružiny. Při nízké hodnotě přetlaku vzduchu uvnitř regulačních pružin může dojít vlivem provedení uchycení víka táhly k dosažení jiné polohy "volné" příruby než jaká je předpokládána převodovou funkcí.



Zdroj: vlastní

Obr. 63 Sériově vyráběný podstavec pneumaticky odpruženého sedadla řidiče firmy Grammer doplněný o pár horizontálně umístěných regulačních pružin vedle nosné pružiny a střídavě překříženými táhly k dosažení požadovaného mechanického převodu mezi pružinami kvazilineárním vedením

V důsledku této možnosti zhoršení zajištění konstantního mechanického převodu bylo navrženo uchycení regulačních pružin tzv. kvazilineárním vedením, které zajišťuje lineární pohyb středu příruby po celé délce zdvihu - kolmo na směr zdvihu sedadla.



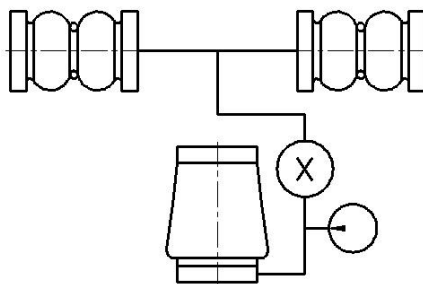
Zdroj: vlastní

Obr. 64 Mechanické prvky a pružiny podstavce sedadla řidiče se vzduchovým tlumením přenosu vibrací doplňující sériově vyráběný podstavec

Na Obr. 64 je zobrazena současná nosná pružina a rozšiřující mechanické prvky, které slouží pro zajištění správné funkce vzduchového tlumení včetně vyobrazení provedení kvazilineárního vedení. Kvazilineární vedení spočívá v překřížení táhel na jedné straně uchycení příruby pružiny.

5.2 Pneumatický obvod

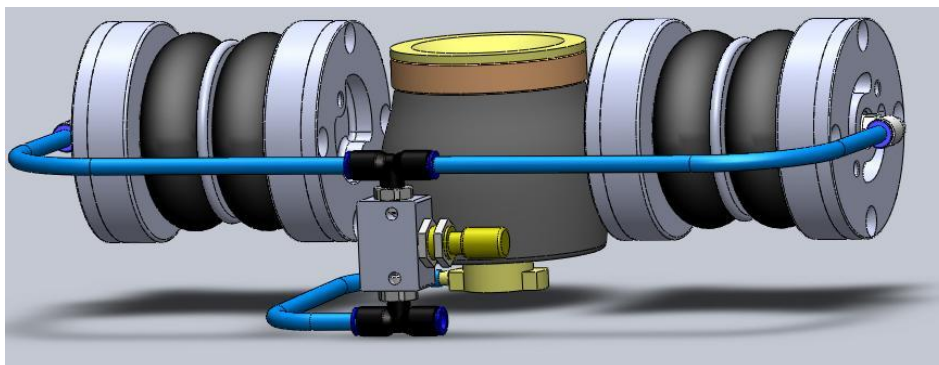
Nastavení pružících a tlumících parametrů lze pneumatickým obvodem bez přítomnosti tlumiče kmitů nastavit změnou průtoku stlačeného vzduchu mezi nosnou pružinou a regulačními pružinami. Na Obr. 65 je schéma pneumatického obvodu, které odpovídá konstrukci vodícího mechanismu se dvěma regulačními pružinami dle odst. 5.1.3.



Zdroj: vlastní

Obr. 65 Pneumatický obvod propojení nosné pružiny a tlumících pružin, je znázorněn přívod stlačeného vzduchu, místem „X“ je označen prvek, který ovlivňuje průtok mezi nosnou pružinou a regulačními pružinami

K propojení pružin jsou použity standardizované pneumatické přípojky a polyuretanová hadice o světlosti 4mm. Délka propojovacích hadic je volena co nejkratší, jelikož tření vzduchu způsobuje rovněž tlakovou ztrátu.



Zdroj: vlastní

Obr. 66 Pneumatické prvky podstavce sedadla řidiče se vzduchovým tlumením přenosu vibrací s běžným škrtícím ventilem

5.2.1 Prvky způsobující tlakovou ztrátu

Jedním ze způsobů, kterým lze v pneumatickém obvodu dosáhnout zpomalení průtoku vzduchu je vřazení škrťacího ventilu do místa obvodu, kde je zpomalení požadováno. Energie stlačeného vzduchu se ve škrťacím ventilu přeměňuje na tepelnou energii. V řešené aplikaci musí být použit oboustranný škrťací ventil z důvodu obousměrného proudění mezi nosnou a regulační pružinou. Italský výrobce PNEUMATICS dodává obousměrný škrťací ventil typu NDV100 (Obr. 67).



Zdroj: [22]

Obr. 67 Obousměrný škrťací ventil výrobce PNEUMATICS typ NDV10

5.2.2 Pneumatické pružící prvky

Nosná pružina je převzata ze současné konstrukce. Její nosnost a zdvih jsou při současném převodovém poměru vyhovující. Jedná se o tlačnou hadicovou pneumatickou pružinu od renomovaného výrobce Continental (viz Obr. 9). Jedná se o zákaznické řešení, které zkonstruováno dle požadavků zadavatele, tedy firmy Grammer. Celé označení pružiny je Continental 818 ZA. Jelikož se zadavatel podílel na vývoji pružiny, nejsou informace ohledně efektivní plochy a zatěžovací charakteristiky veřejně dostupné.

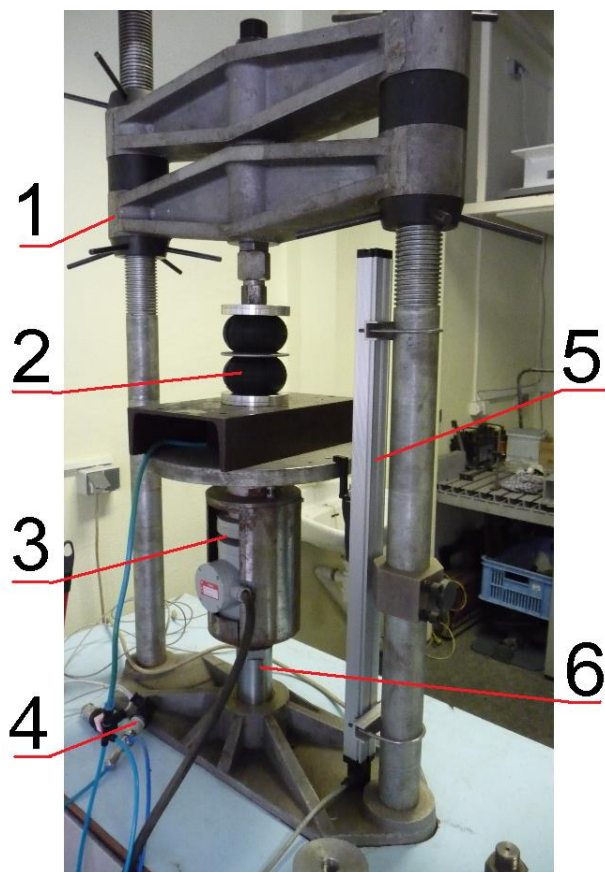
Proměnlivý přídatný objem – čili regulační pružinu představují dvě pružiny Dunlop 2,75" x 2 vlnovcového typu (viz Obr. 7).

5.2.2.1 Měření parametrů pneumatických pružin

Vlastnosti pneumatických pružin jsou dodávány v jejím katalogovém listu. Přesnost grafu ovšem není dostatečná a pro výpočty je vhodné pružinu přesně změřit. Na TU v Liberci se pro měření zatěžovací charakteristiky a efektivní plochy pružiny využívá vybavení hydrodynamické laboratoře.

Popis měření:

Pružina je umístěna mezi opěrné desky, ty jsou od sebe ve vzdálenosti H = statická výška pružiny. Pružina je naplněna vzduchem o přetlaku 3 bar (nebo jiném, dle požadavků). V programu se nastaví parametry průběhu měření a spustí se vlastní měření, ve kterém se pružina nejdříve stlačí na minimální zdvih, chvíli se setrvává a dojde k odlehčení na maximální zdvih, nakonec se píst hydromotoru vrátí do počáteční polohy H . Celý průběh se zaznamená a poté zpracuje v programu MS Excel.

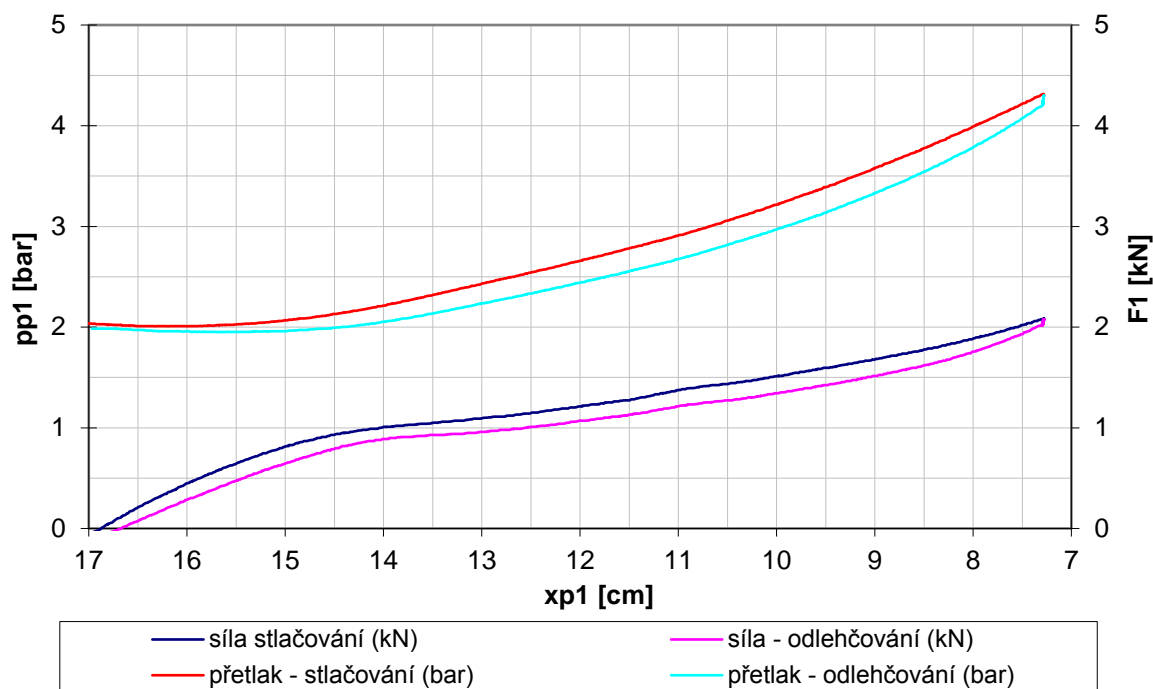


Zdroj: vlastní

Obr. 68 Schéma měření charakteristiky pneumatické pružiny (1- rám, 2 – měřená pružina, 3 – tenzometr (20kN), 4 - snímač přetlaku v pneumatické pružině, 5 – snímač lineárního posuvu, 6 – lineární hydromotor. K zařízení dále patří hydraulické čerpadlo, regulátor rychlosti posuvu lin. hydromotoru, A/D převodník a interface pro připojení PC pomocí USB)

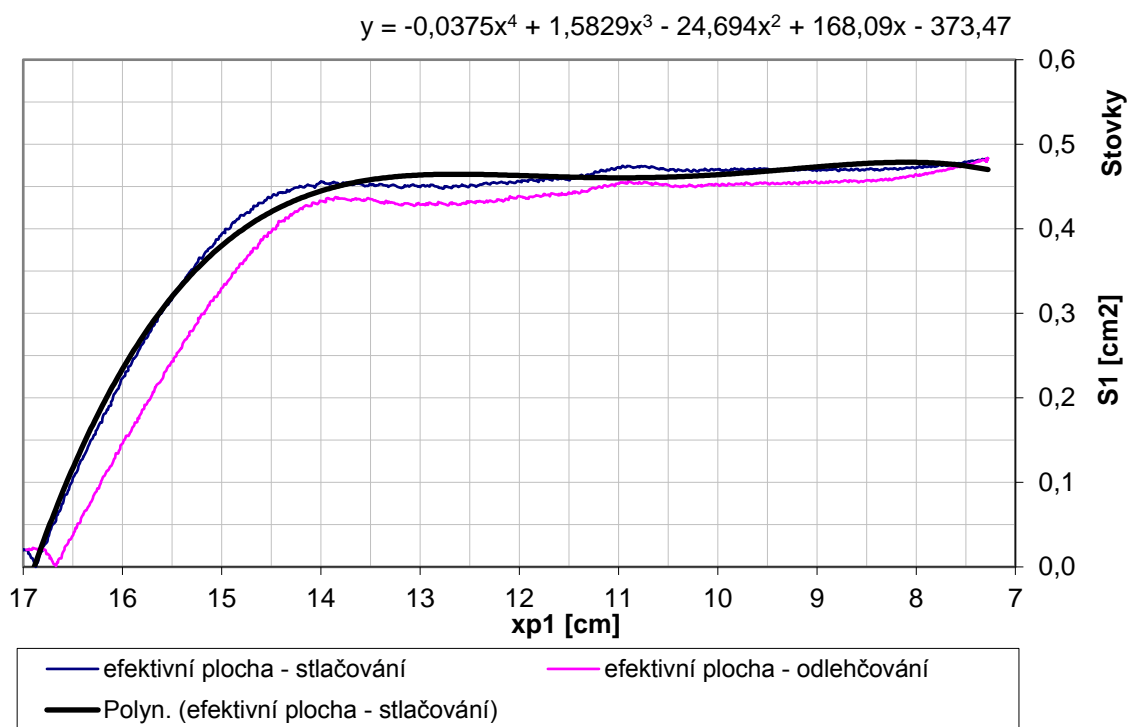
Zatěžovací charakteristika pružiny Continental 818 ZA je při stlačování ze zástavbového prostoru do minimálního degresivní a při uvolňování progresivní (viz Obr. 69). Efektivní plocha prudce klesá při odlehčování – tedy směrem k maximálnímu zdvihu. Naopak je konstantní směrem k minimálnímu zdvihu (viz Obr. 70).

Porovnání zatěžovacích charakteristik obou pneumatických pružin demonstruje rozdíly, které jsou typické pro konstrukci hadicové a vlnovcové pružiny. Zatěžovací charakteristika vlnovcové pružiny Dunlop 2,75x2 má více progresivní charakter (viz Obr. 71), v případě efektivní plochy je viditelná zřejmá lineární na závislost zdvihu, přičemž s větším stlačením efektivní plocha narůstá (viz Obr. 72).



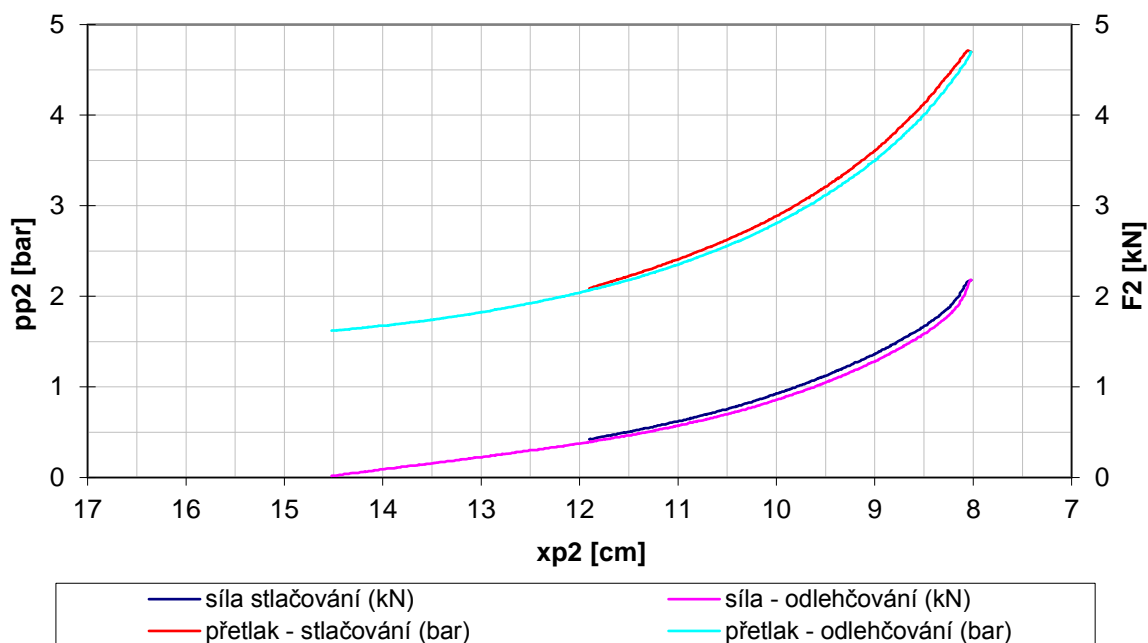
Zdroj: vlastní

Obr. 69 Zatěžovací charakteristika pneumatické pružiny Continental 818 ZA



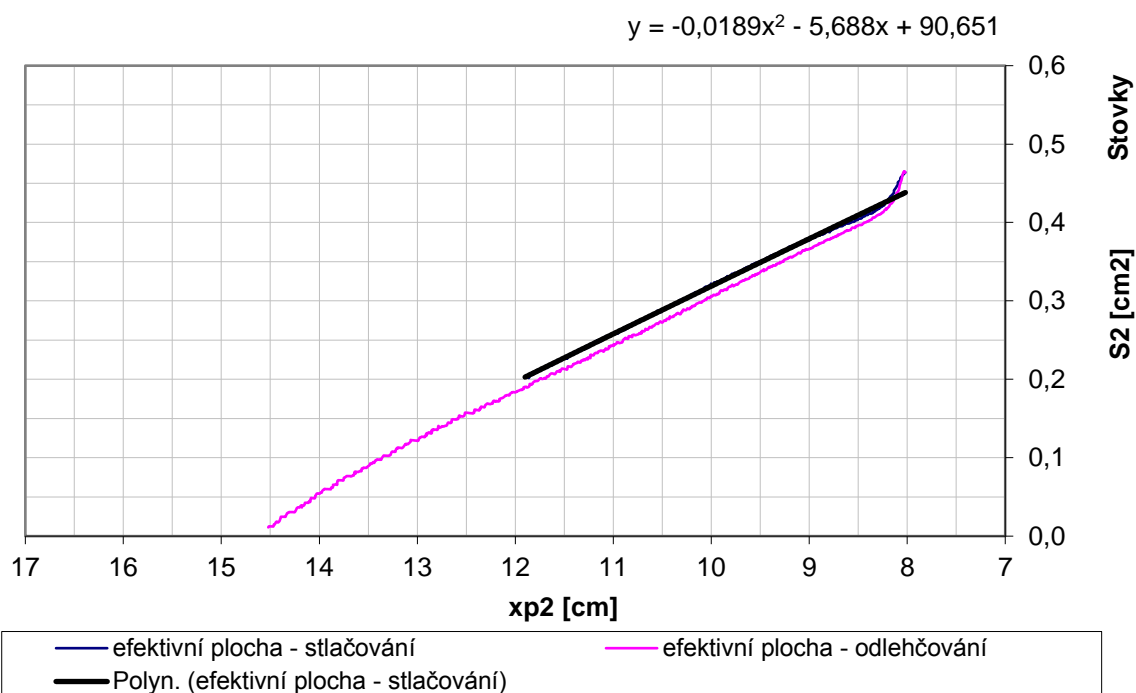
Zdroj: vlastní

Obr. 70 Efektivní plocha pneumatické pružiny Continental 818 ZA



Zdroj: vlastní

Obr. 71 Zatěžovací charakteristika pneumatické pružiny Dunlop 2,75x2

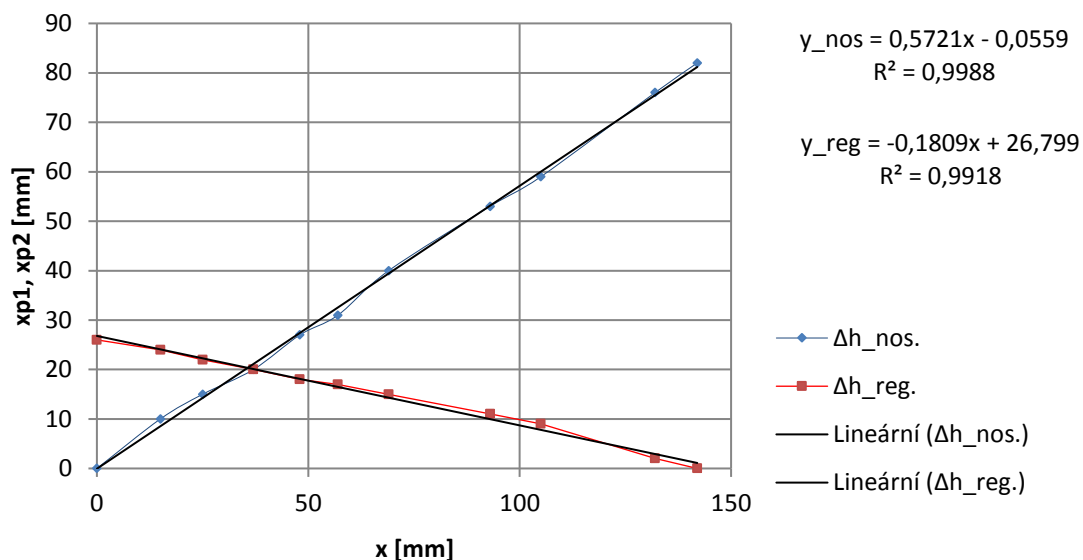


Zdroj: vlastní

Obr. 72 Efektivní plocha pneumatické pružiny Dunlop 2,75x2

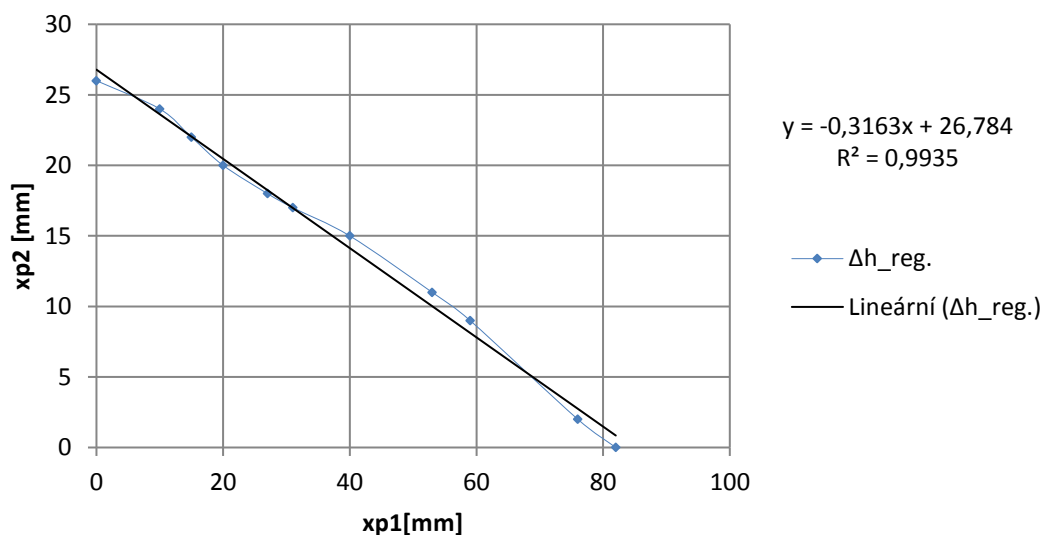
5.2.3 Převod mechanické soustavy

K získání relevantních výsledků výpočtů je nezbytně nutná znalost převodových funkcí nosné pružiny a regulačních pružin navzájem a vůči zdvihu pružícího podstavce. S výhodou lze pro vytvoření převodových funkcí použít podpůrné funkce 3D konstrukčního programu (*Obr. 73 a Obr. 74*). Průběhy všech tří převodových funkcí mají téměř lineární průběh. Při proložení lineárních funkcí, které mohou být dále použity ve výpočtech, je zjištěna vysoká spolehlivost proložení. Chyby vnesené do výpočtů rovnicemi regrese nabývají nižších hodnot než 0,1%



Zdroj: vlastní

Obr. 73 Převodové funkce nosné a regulační pružiny na zdvihu

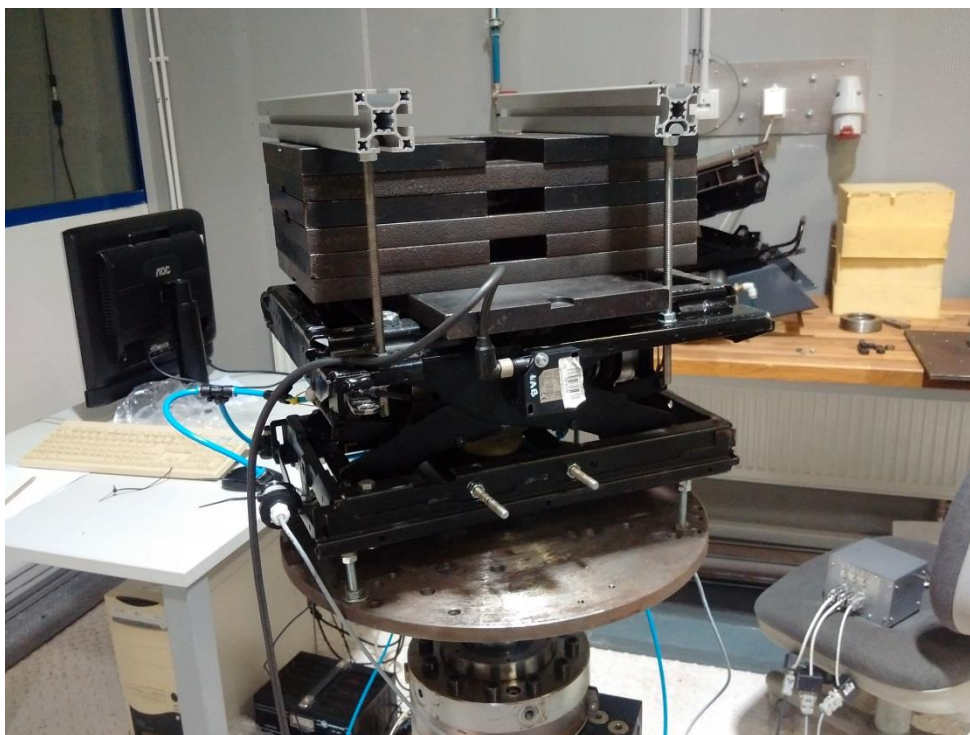


Zdroj: vlastní

Obr. 74 Převodové funkce mezi nosnou a regulační pružinou

6 Měření kinematických veličin na prototypu sedadla se vzduchovým tlumením

Měření bylo zajištěno v laboratoři aplikované mechaniky na půdě Technické univerzity v Liberci. Prototyp sedačky je pomocí kotvící desky připojen k řízenému lineárnímu hydraulickému motoru s integrovaným snímačem polohy. Na podstavci je připevněno závaží, které nahrazuje hmotnost sedačky a řidiče. Výchylka podstavce je snímána laserovým snímačem (viz Obr. 75).

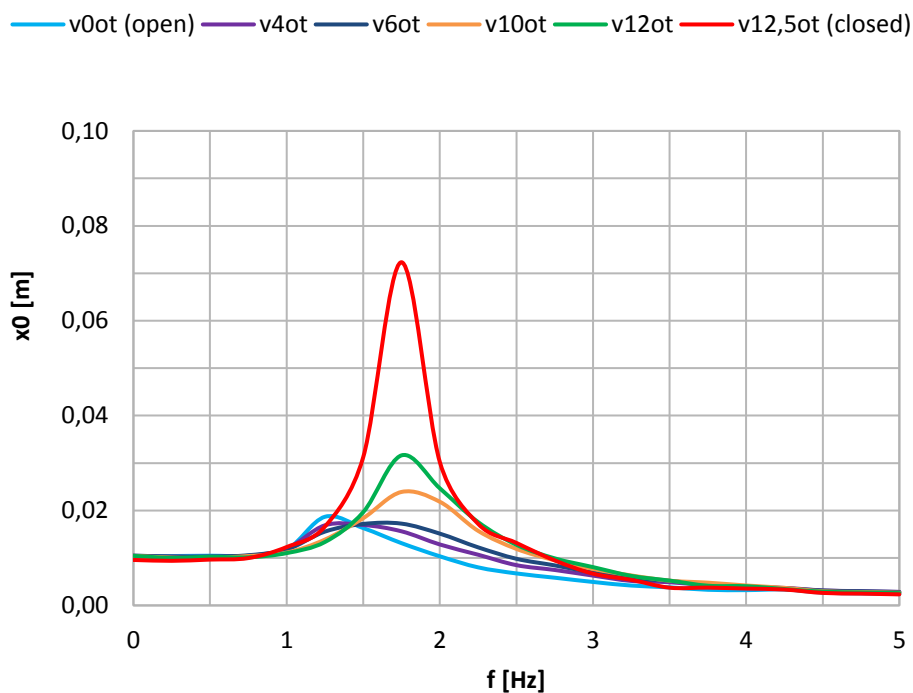


Zdroj: vlastní

Obr. 75 Schéma experimentu (Testovaný podstavec sedadla, Upevňovací deska, řízený lineární hydromotor s integrovaným snímačem polohy (INOVA), závaží, laserový snímač polohy (Balluf), snímače tlaku, snímače zrychlení)

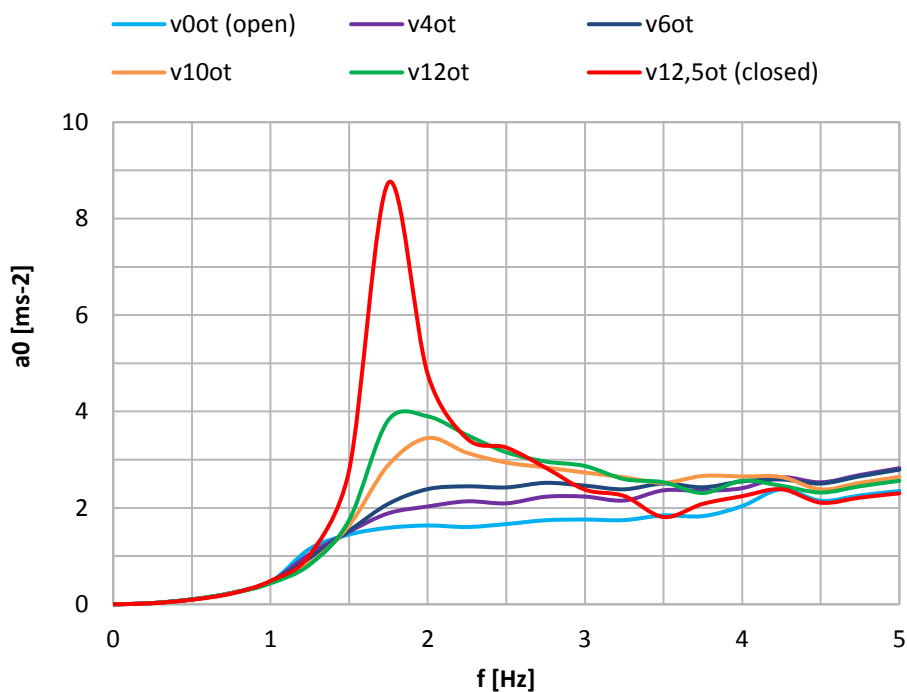
Experimenty probíhaly za stejných podmínek. Kinematické buzení má sinusový průběh. Amplituda výchylky je ± 10 mm, frekvence od 0,5 Hz do 5 Hz, krok 0,25 Hz. Závaží představuje hmotnost 70 kg. Vlhkost a teplota vzduchu průběh měření zásadně neovlivňují. Dosud nebyla řešena úprava pro extrémní klimatické podmínky. Předpokládá se provoz v prostředí, kde bude člověk. Léty používání je vyzkoušeno, že použité prvky budou správně plnit svou funkci po celou dobu životnosti podstavce.

Byla provedena série měření se zvoleným škrticím prvkem, u kterého bylo možné upravit intenzitu škrcení pomocí nastavovacího šroubu (viz Obr. 67). Všechna měření byla následně zpracována v programu MS Excel 2010 a byly tak získány přenosové charakteristiky výchylky a zrychlení (viz Obr. 76 a Obr. 77).



Zdroj: vlastní

Obr. 76 Naměřená amplitudová frekvenční charakteristika výchylky na prototypu pružícího podstavce se vzduchovým tlumením

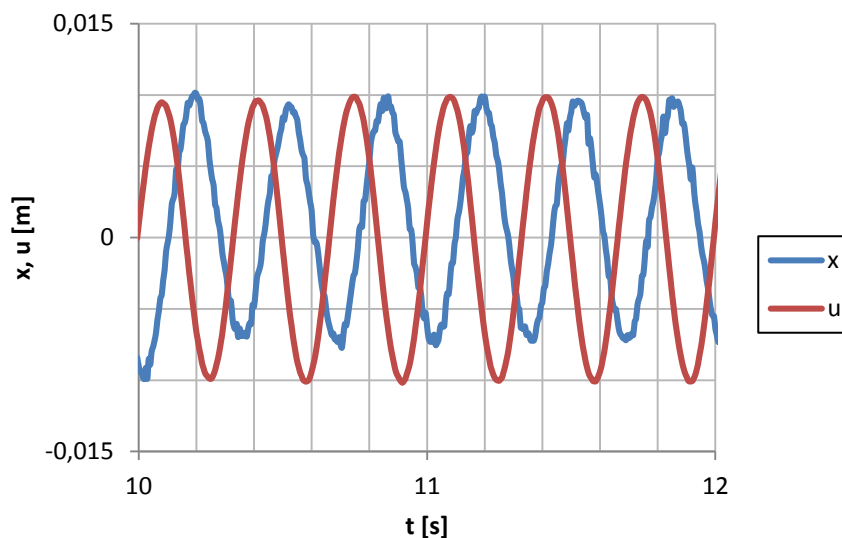


Zdroj: vlastní

Obr. 77 Naměřená amplitudová frekvenční charakteristika zrychlení na prototypu pružícího podstavce se vzduchovým tlumením

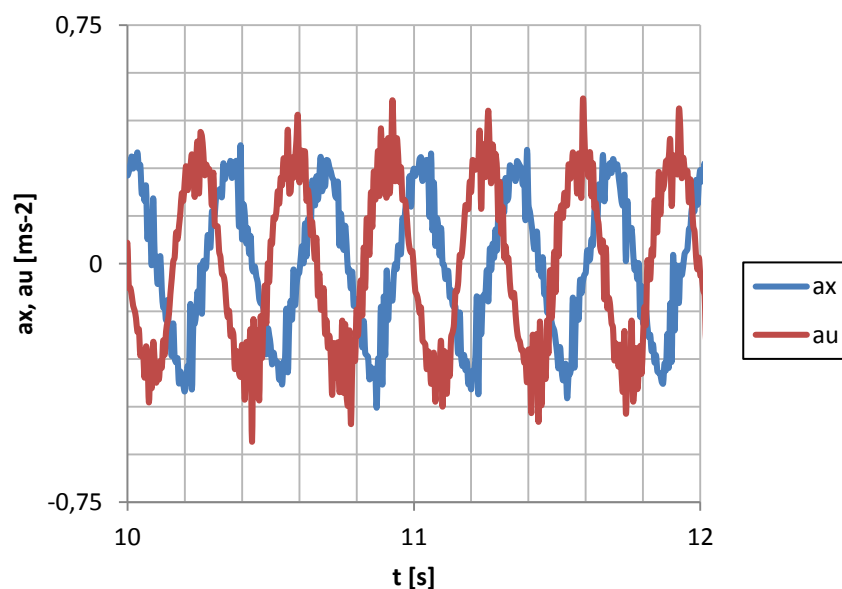
Získané přenosové charakteristiky odpovídají průběhům řešeným numericky. Nižší hodnota vlastní frekvence při zcela otevřeném škrtícím ventilu není tak patrná jak je tomu u numerického řešení. To je způsobeno tím, že v numerickém řešení nebyly uvažovány pasivní odpory konstrukce a část tlakové ztráty vzniká třením vzduchu při proudění propojovací hadicí a spojovacími armaturami. Tímto vlivem došlo i k rozdílným hodnotám vlastních frekvencí.

Pro průběh $v_4(t)$ dle výše uvedených přenosových charakteristik je v Obr. 81 zobrazen průběh výchylek buzení a odezvy sedadla. V Obr. 82 jsou zobrazeny hodnoty zrychlení pro totožné nastavení a frekvenci.



Zdroj: vlastní

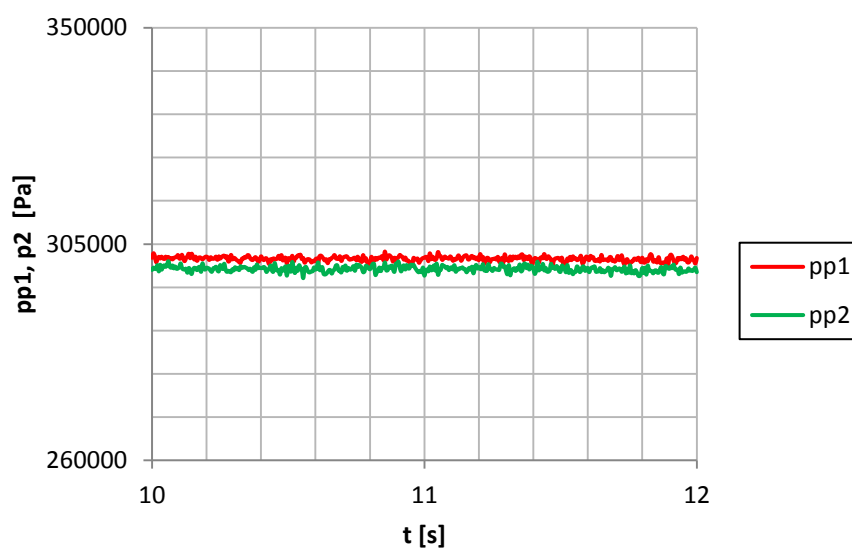
Obr. 78 Naměřené časové průběhy výchylek x a u při frekvenci 3,00 Hz na prototypu pružícího podstavce se vzduchovým tlumením



Zdroj: vlastní

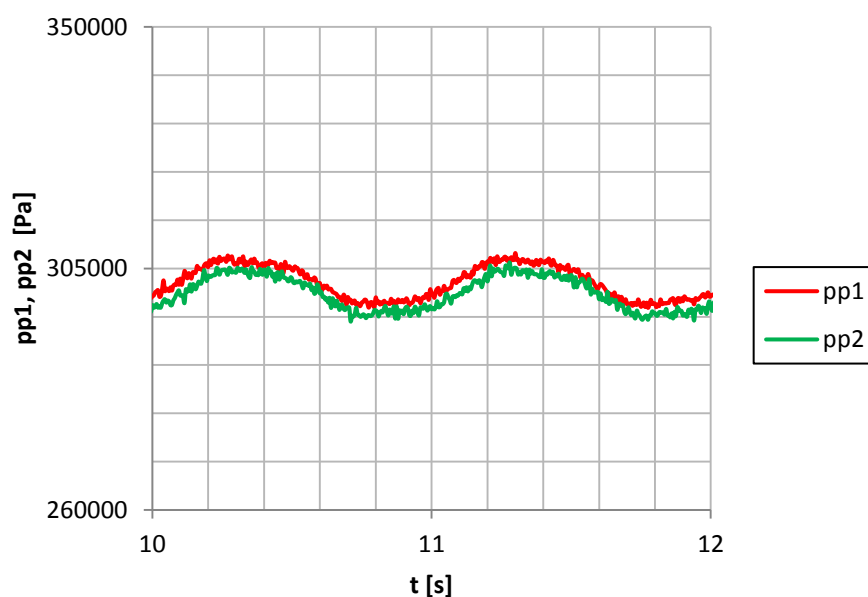
Obr. 79 Naměřené časové průběhy zrychlení a_x a a_u při frekvenci 3,00 Hz na prototypu pružícího podstavce se vzduchovým tlumením

V dalších stránkách tohoto textu jsou průběhy tlaků v nosné a regulační pružině pro stejné nastavení jak je uvedeno výše.



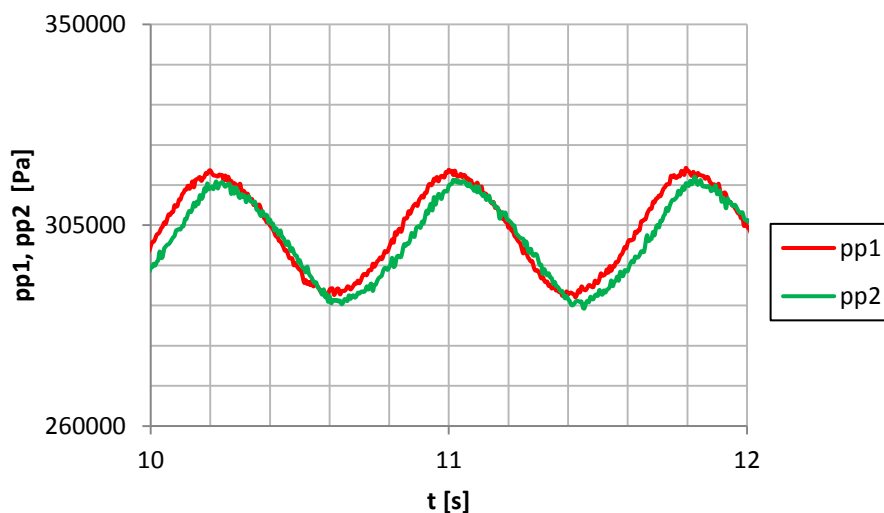
Zdroj: vlastní

Obr. 80 Naměřené časové průběhy přetlaků p_{p1} a p_{p2} v pneumatických pružinách při frekvenci 0,75 Hz na prototypu pružícího podstavce se vzduchovým tlumením



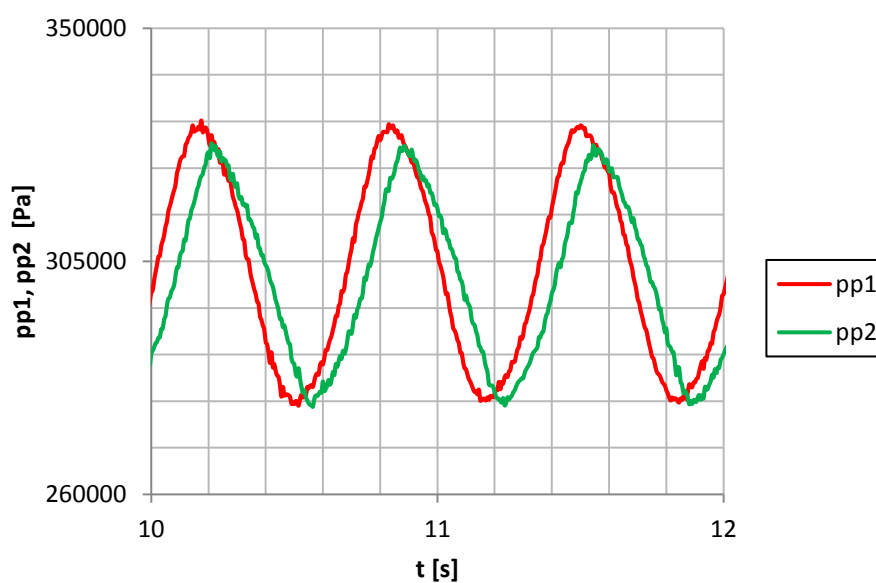
Zdroj: vlastní

Obr. 81 Naměřené časové průběhy přetlaků p_{p1} a p_{p2} v pneumatických pružinách při frekvenci 1,00 Hz na prototypu pružícího podstavce se vzduchovým tlumením



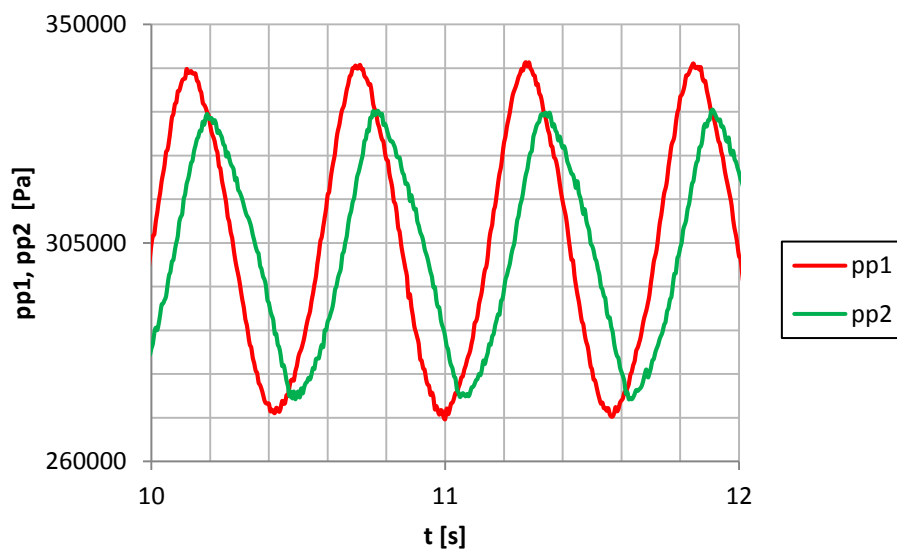
Zdroj: vlastní

Obr. 82 Naměřené časové průběhy přetlaků p_{p1} a p_{p2} v pneumatických pružinách při frekvenci 1,25 Hz na prototypu pružícího podstavce se vzduchovým tlumením



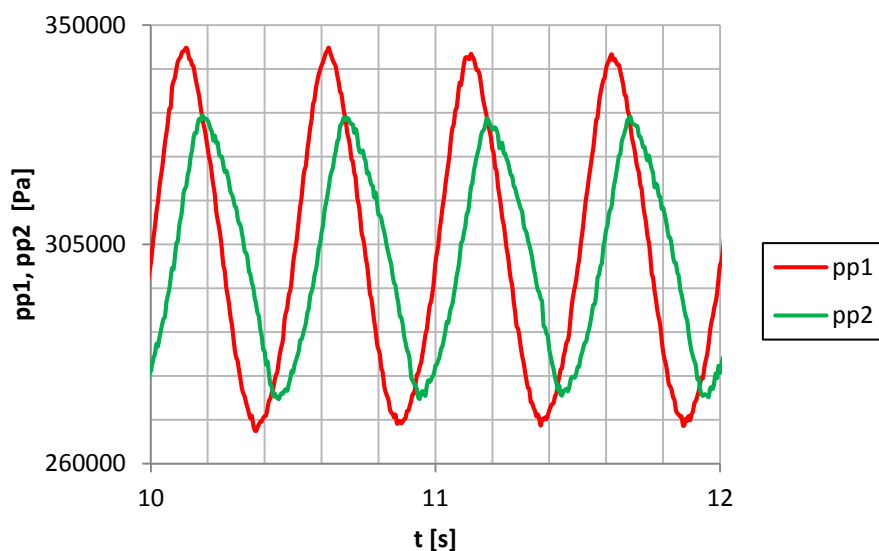
Zdroj: vlastní

Obr. 83 Naměřené časové průběhy přetlaků p_{p1} a p_{p2} v pneumatických pružinách při frekvenci 1,50 Hz na prototypu pružícího podstavce se vzduchovým tlumením



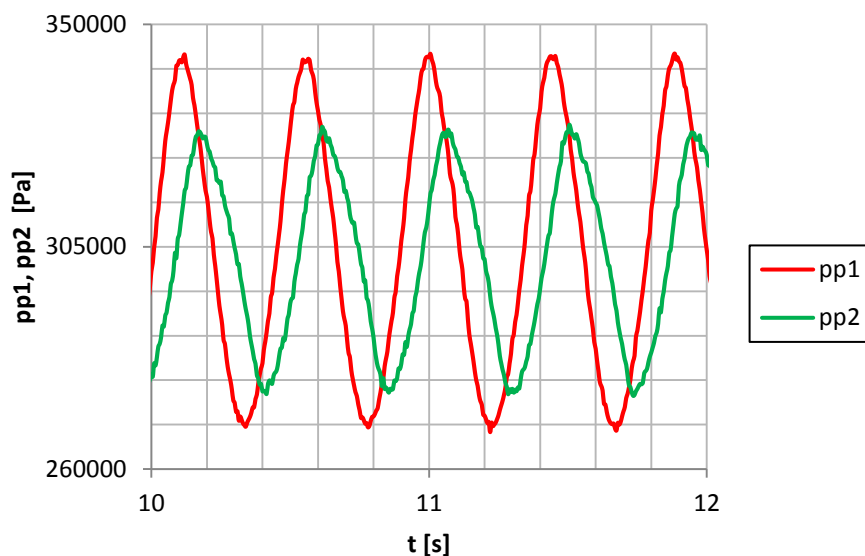
Zdroj: vlastní

Obr. 84 Naměřené časové průběhy přetlaků p_{p1} a p_{p2} v pneumatických pružinách při frekvenci 1,75 Hz na prototypu pružícího podstavce se vzduchovým tlumením



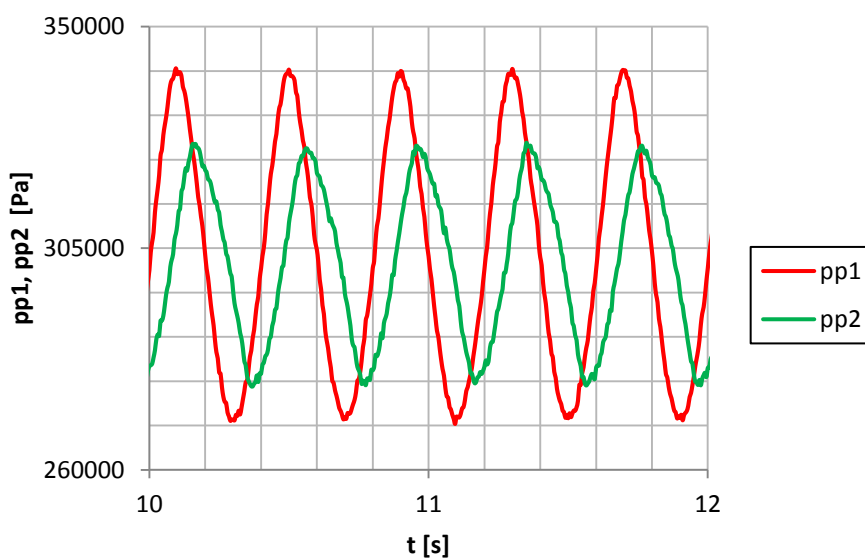
Zdroj: vlastní

Obr. 85 Naměřené časové průběhy přetlaků p_{p1} a p_{p2} v pneumatických pružinách při frekvenci 2,00 Hz na prototypu pružícího podstavce se vzduchovým tlumením



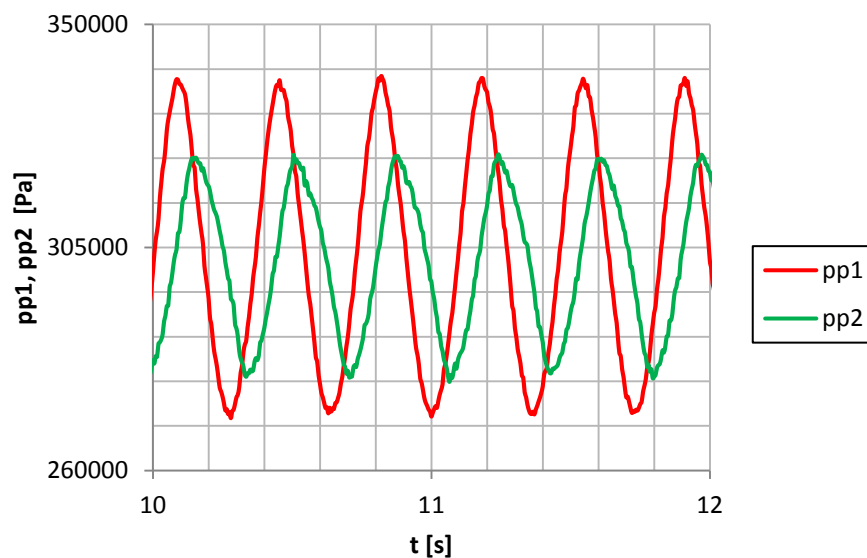
Zdroj: vlastní

Obr. 86 Naměřené časové průběhy přetlaků p_{P1} a p_{P2} v pneumatických pružinách při frekvenci 2,25 Hz na prototypu pružícího podstavce se vzduchovým tlumením



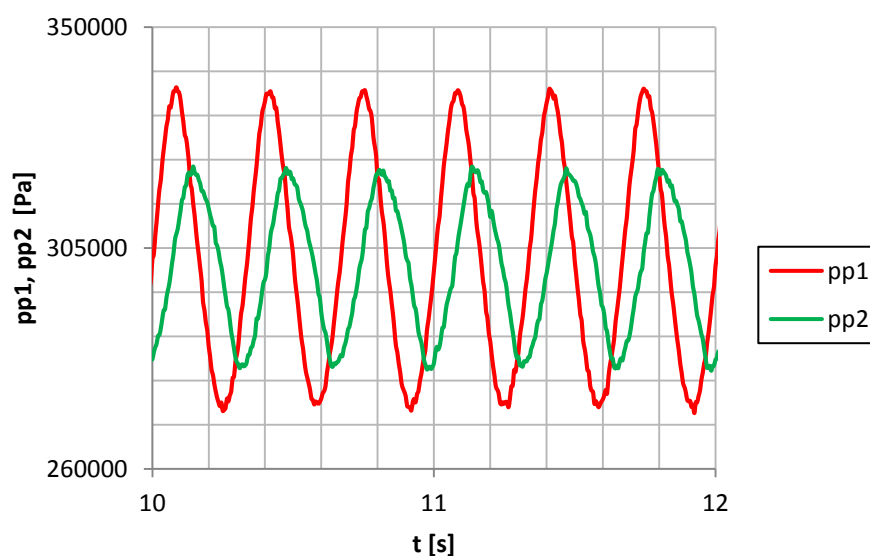
Zdroj: vlastní

Obr. 87 Naměřené časové průběhy přetlaků p_{P1} a p_{P2} v pneumatických pružinách při frekvenci 2,50 Hz na prototypu pružícího podstavce se vzduchovým tlumením



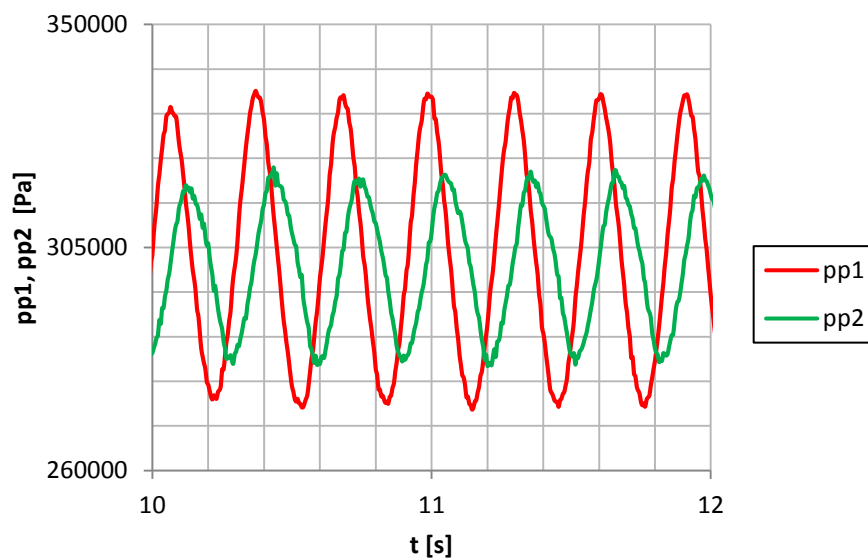
Zdroj: vlastní

Obr. 88 Naměřené časové průběhy přetlaků p_{p1} a p_{p2} v pneumatických pružinách při frekvenci 2,75 Hz na prototypu pružícího podstavce se vzduchovým tlumením



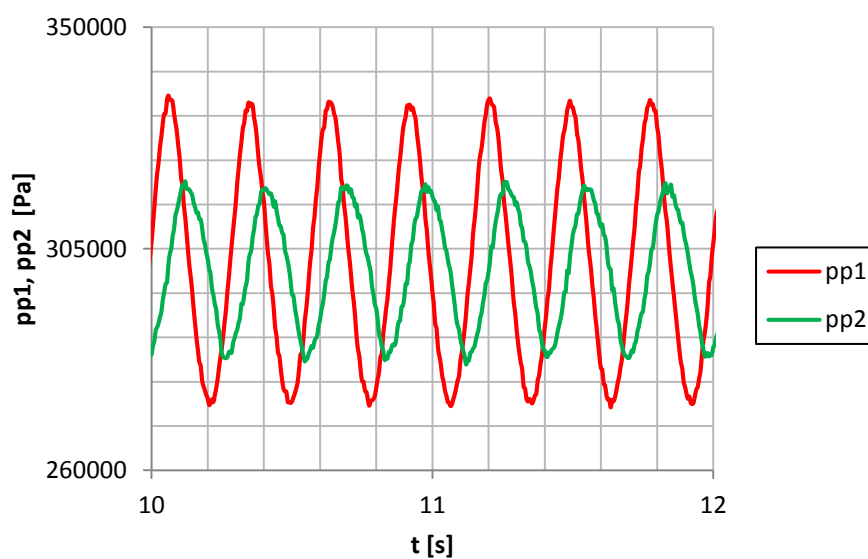
Zdroj: vlastní

Obr. 89 Naměřené časové průběhy přetlaků p_{p1} a p_{p2} v pneumatických pružinách při frekvenci 3,00 Hz na prototypu pružícího podstavce se vzduchovým tlumením



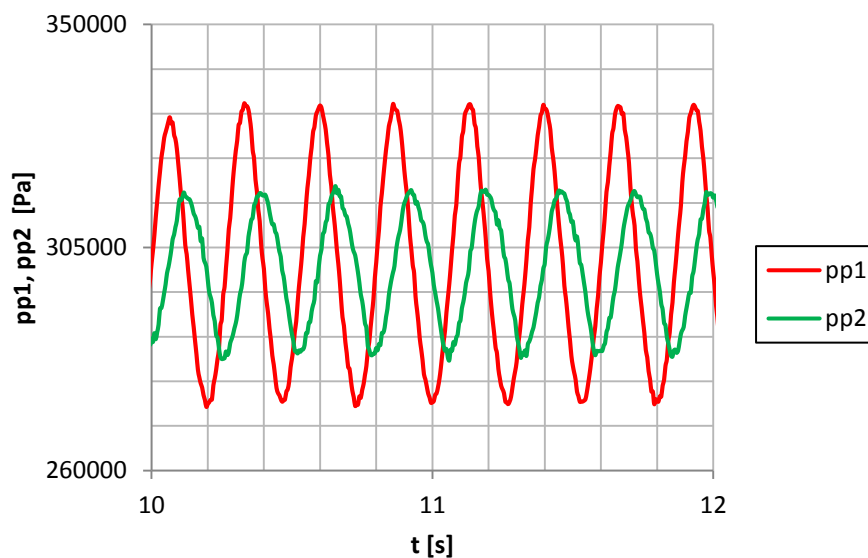
Zdroj: vlastní

Obr. 90 Naměřené časové průběhy přetlaků p_{p1} a p_{p2} v pneumatických pružinách při frekvenci 3,25 Hz na prototypu pružícího podstavce se vzduchovým tlumením



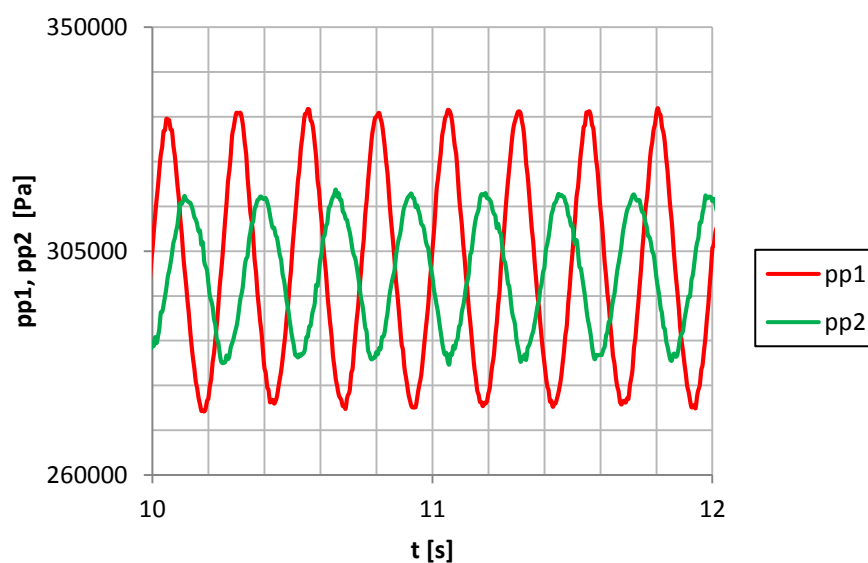
Zdroj: vlastní

Obr. 91 Naměřené časové průběhy přetlaků p_{p1} a p_{p2} v pneumatických pružinách při frekvenci 3,50 Hz na prototypu pružícího podstavce se vzduchovým tlumením



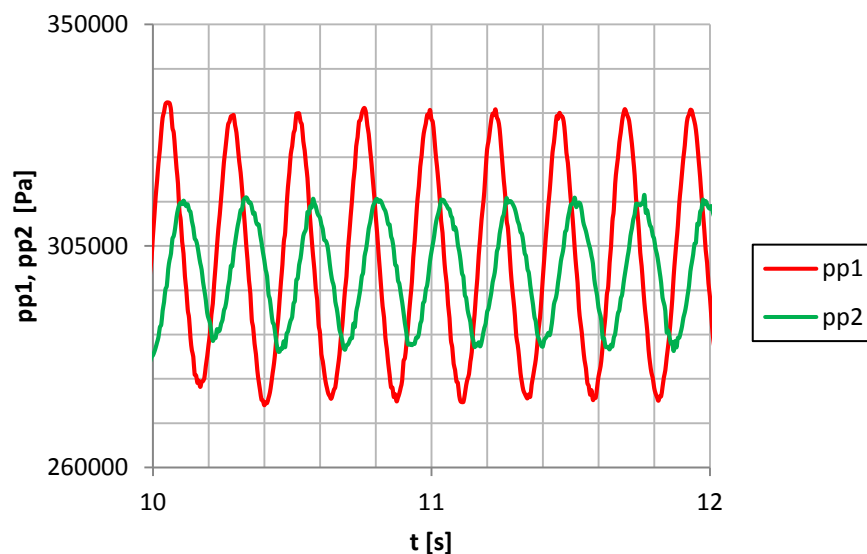
Zdroj: vlastní

Obr. 92 Naměřené časové průběhy přetlaků p_{p1} a p_{p2} v pneumatických pružinách při frekvenci 3,75 Hz na prototypu pružícího podstavce se vzduchovým tlumením



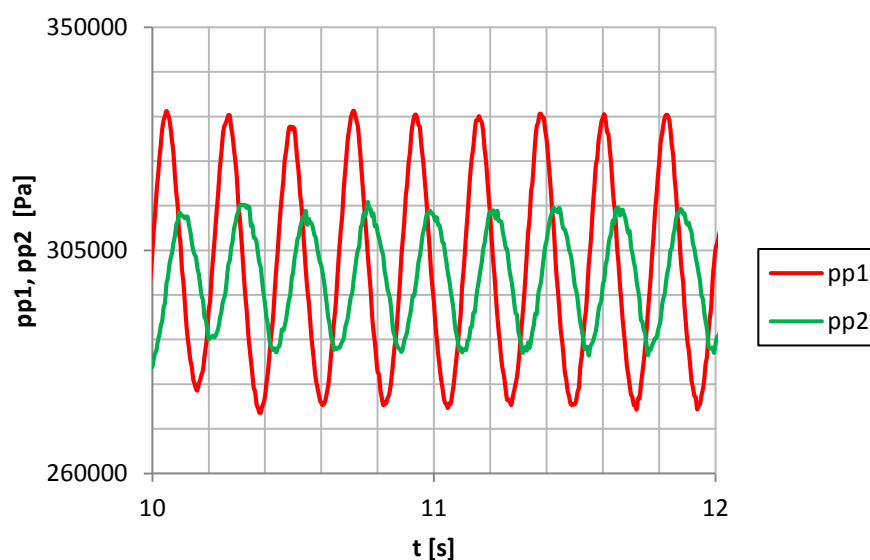
Zdroj: vlastní

Obr. 93 Naměřené časové průběhy přetlaků p_{p1} a p_{p2} v pneumatických pružinách při frekvenci 4,00 Hz na prototypu pružícího podstavce se vzduchovým tlumením



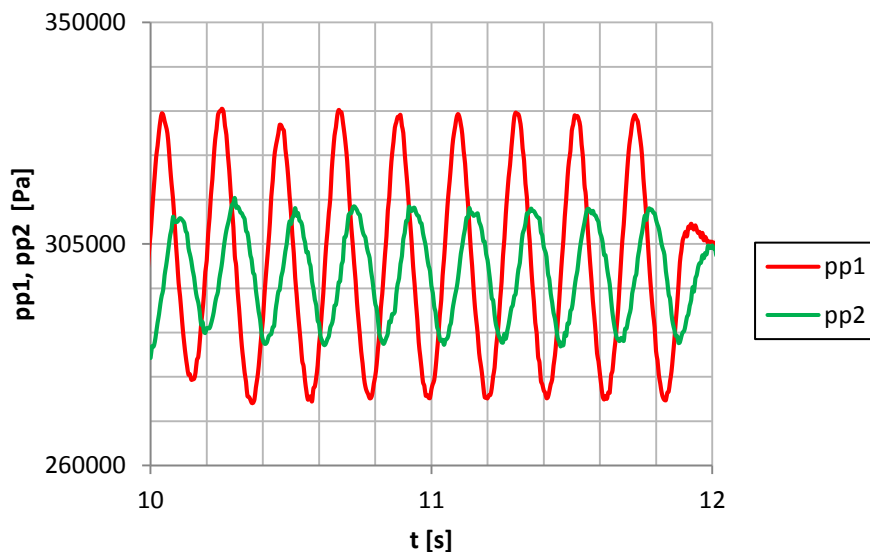
Zdroj: vlastní

Obr. 94 Naměřené časové průběhy přetlaků p_{p1} a p_{p2} v pneumatických pružinách při frekvenci 4,25 Hz na prototypu pružícího podstavce se vzduchovým tlumením



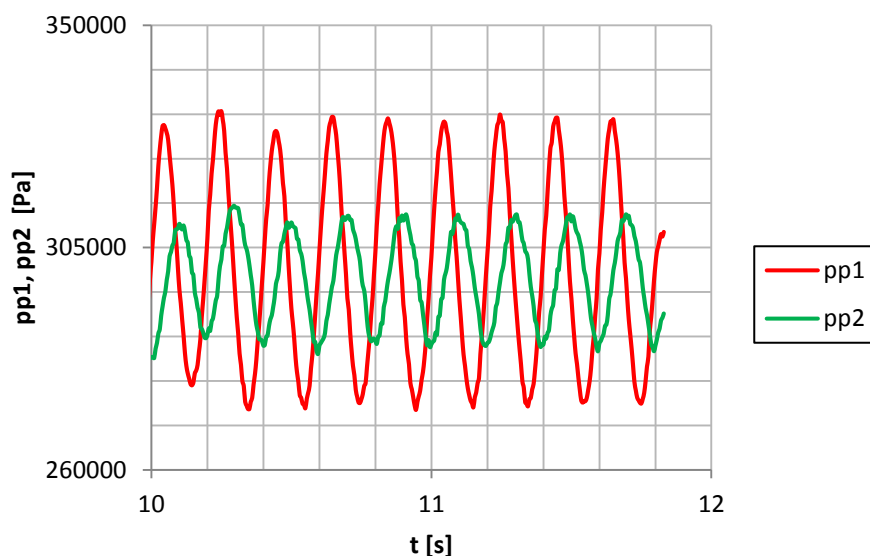
Zdroj: vlastní

Obr. 95 Naměřené časové průběhy přetlaků p_{p1} a p_{p2} v pneumatických pružinách při frekvenci 4,50 Hz na prototypu pružícího podstavce se vzduchovým tlumením



Zdroj: vlastní

Obr. 96 Naměřené časové průběhy přetlaků p_{p1} a p_{p2} v pneumatických pružinách při frekvenci 4,75 Hz na prototypu pružícího podstavce se vzduchovým tlumením



Zdroj: vlastní

Obr. 97 Naměřené časové průběhy přetlaků p_{p1} a p_{p2} v pneumatických pružinách při frekvenci 5,00 Hz na prototypu pružícího podstavce se vzduchovým tlumením

Naměřené časové průběhy přetlaků p_{p1} a p_{p2} stlačeného vzduchu v nosné a regulační pružině ukazují na možnost systému vytvořit jejich libovolné fázové posunutí, od soufázového průběhu až po průběhy, které jsou právě v protifázi. Z předcházejícího řešení je zřejmé, že stejným způsobem lze vytvořit fázové posunutí vratných dynamických sil F_{vd1} a F_{vd2} , čímž se zajistí požadované tlumení systému.

7 Závěr

Existuje mnoho technických problémů, u kterých se požaduje minimalizace vibrací. V automobilovém průmyslu, při stavbě vozidel, je třeba tento úkol řešit v obou základních případech buzení dynamických soustav. Uvedená problematika vibroizolace sedadla řidiče spadá do skupiny kinematicky buzených systémů. Kromě toho je v tomto odvětví průmyslu řešena i řada případů, kdy dynamické soustavy jsou buzeny setrvačnými silami a momenty.

Typickým příkladem první skupiny dynamických soustav je sedadlo řidiče. Řešení jeho vibroizolace je zatíženo zejména problémy, které spočívají v proměnné frekvenci buzení. Je tedy zřejmé, že není možné vždy zajistit podle principu vibroizolace dostatečný rozdíl mezi budicí frekvencí a vlastní frekvencí dynamické soustavy.

Existuje proto snaha o možnost přeladění vibroizolačního systému s ohledem na aktuální provozní podmínky. Takové požadavky lze však s úspěchem realizovat za značně vyšších nákladů a konstrukční řešení spadající do této oblasti patří mezi aktivní vibroizolační systémy. Používají se velmi zřídka a jen ve zdůvodněných případech, např. rypadel, bagrů apod., kdy je obsluha vystavena během celé pracovní doby amplitudově i frekvenčně rozmanitým vibracím.

Zejména z ekonomických důvodů a z důvodů dostatečné vibroizolace v širokém frekvenčním pásmu se výrobci sedadel řidiče věnují minimalizaci přenosu vibrací prostřednictvím tlumení.

Během několikaleté spolupráce Katedry částí a mechanismů strojů s firmou Grammer AG, Amberg (SRN) vznikl systém, jehož analýza je předmětem dizertační práce. V zásadě se jedná o vzduchové tlumení nové generace, které podle předkládaných simulací i podle výsledků laboratorních zkoušek na zkušebním vzorku prokazuje vynikající tlumicí vlastnosti. Toto řešení navíc umožňuje i konstrukčně jednoduchou změnu tuhosti a možnosti naladění vlastní frekvence soustavy.

V dizertační práci je řešený originální systém pružícího podstavce vystaven konfrontaci se systémem, který je dnes běžně provozován a využívá hydraulické tlumení. Hodnocení obou sedadel je provedeno na základě simulace kmitání při buzení konstantní amplitudou výchylky základu při frekvencích 0 až 5 Hz. Získané frekvenční charakteristiky kinematických veličin byly dále zpracovány za účelem stanovení součinitele K vyjadřujícího míru zatížení sedícího člověka svislým zrychlením.

Konstrukce pružícího podstavce se vzduchovým tlumením představuje systém pneumatických pružin v diferenciálním pneumatickém zapojení a vřazeným škrticím ventilem. Pružiny jsou zavěšeny ve vodícím mechanismu tak, že působí silově navzájem proti sobě, což vede k vynucenému proudění stlačeného vzduchu mezi nimi.

Tento systém může být využit s výhodou k vibroizolaci i jiných kinematicky buzených objektů, například sanitních lehátek atp.

Výsledky výpočtu, laboratorní měření i subjektivní pocit řidiče prokázaly, že sedadlo se vzduchovým tlumením má kvalitativně vyšší úroveň vibroizolačních schopností než běžné sedadlo s tlumením hydraulickým. Tento rozdíl je zvláště patrný s ohledem na plnění ukazatelů hygienických norem definujících mezní zatížení člověka vibracemi.



7.1 Splnění cílů práce

Na základě vyřešených teoretických a konstrukčních úloh z problematiky vzduchového tlumení sedadla řidiče lze konstatovat, že dizertační práce splnila následující vědeckovýzkumné cíle:

Byly popsány současné systémy pružících podstavců sedadel, jejich obvyklé vodící mechanismy a jejich varianty, často používané pružící a tlumící prvky a principy jejich využití v konstrukcích pružících podstavců.

Byla definována teoretická východiska navrhovaného řešení, sestaveny mechanické modely a provedeno dynamické řešení s ohledem na optimalizaci pružících a tlumících vlastností podstavce.

Byl vytvořen konstrukční návrh zavěšení pneumatických pružin ve vybraném vodícím mechanismu podstavce sedadla včetně pneumatického spojení přes škrťací prvek.

Bylo provedeno vyhodnocení vzduchového tlumení sedadla řidiče na základě ukazatelů hygienických norem a další dynamické vlastnosti byly porovnávány se stávající konstrukcí pružícího podstavce s hydraulickým tlumením.

Byla vytvořena dokumentace a vyroben funkční vzorek, na kterém byla v laboratorních podmínkách provedena řada ověřovacích měření.

7.2 Zhodnocení původních výsledků pro vědní obor a praxi

V dizertační práci byl teoreticky analyzován, konstrukčně vyřešen a laboratorně ověřen pružící podstavec sedadla řidiče se vzduchovým tlumením s kvalitativně vyšším vibroizolačním účinkem. Teoretické analýzy byly provedeny na základě výpočtových simulací pomocí programu MAPLE. Konstrukční řešení bylo dopracováno do podoby funkčního vzorku. Laboratorní ověření dynamických vlastností podstavce a výsledků teoretických simulací bylo provedeno na hydropulsu při měření kinematických veličin, sil a přetlaků stlačeného vzduchu a jejich časových průběhů

Dosavadní stav techniky v oblasti odpružených sedadel řidičů řeší snížení výchylek při provozu v oblasti rezonance hydraulickým tlumičem kmitů. Jeho použití v jiných frekvencích má negativní účinek na vibroizolační schopnosti podstavce a nepříznivě ovlivňuje velikost zatížení řidiče vibracemi přenášenými z podlahy vozidla.

Řešený pneumaticko-mechanický systém vzduchového tlumení, který neobsahuje žádný běžný tlumící prvek, ale je tvořen alespoň dvěma pneumatickými pružinami spojenými přes škrťací prvek a zavěšenými ve vodícím mechanismu pružícího podstavce tak, že silově působí navzájem proti sobě. Navržené uspořádání vede k fázovému posunutí sil pneumatických pružin a jejich účinků na sedadlo řidiče, což vytváří tlumící účinek.

Hodnotu vlastní frekvence kmitání sedadla lze případně snadno měnit úplným otevřením nebo uzavřením průtoku stlačeného vzduchu mezi pneumatickými pružinami a tak změnit frekvenční polohu rezonanční oblasti.

Funkční prototyp odpruženého sedadla se vzduchovým tlumením využívá současné konstrukce vodícího mechanismu. Po jeho úpravě je zachována minimální výška i celkový zdvih. Vnější rozměry jsou také zachovány.



7.3 Doporučení pro pokračování práce v daném tématu

Vzduchové tlumení sedadla řidiče, které je předmětem dizertační práce, bylo dopracováno až do stádia funkčního vzorku, na kterém byly ověřeny jeho dynamické vlastnosti a zejména jeho oprávněná využitelnost v automobilovém průmyslu.

V současné době tvoří předkládaná dizertační práce dostatečně rozsáhlou a teoreticky podloženou bázi pro další vývojové projekty spočívající zejména v optimalizaci konstrukce, integraci bezobslužných ovládacích prvků jako například mechanické systémy založené na snímání kinematických veličin nebo přetlaku.

Z hlediska dalších teoretických výzkumů bylo k doporučení další řešení numerických analýz proudění stlačeného vzduchu mezi pneumatickými pružinami a optimalizace jejich parametrů a zejména geometrických charakteristik.

Seznam příloh

Veškeré přílohy jsou umístěny na přiloženém CD, vybrané přílohy jsou současně i v tištěné podobě.

Příloha 1: Patentová rešerše

Příloha 2: Výpočet sedadla s tlumičem

Příloha 3: Výpočet sedadla se dvěma pružinami

Příloha 4: 3D dokumentace podstavce sedadla se vzduchovým tlumením

Seznam použité literatury

Zkrácené bibliografické citace dle ČSN ISO 690

- [1] KOHL, O. – PEŠÍK, L.: Evaluation of Driver's Seats Dynamic Properties. Vibroengineering PROCEDIA. Editor K. RAGULSKIS. Kaunas: JVE International, 2016. ISSN 2345-0533.
- [2] Sedačka řidiče. In: Agrozet [online]. Česká republika: ---, 2009 [cit. 2017-04-18]. Dostupné z: <http://www.agrozetshop.cz/sedacka-ridice-72115401/d-88747-c-1505/>
- [3] Wide Parallelogram Suspension. In: SEATS [online]. Canada: ---, 2009 [cit. 2017-04-18]. Dostupné z: <http://www.seatscanada.com/catalogue/widePara.htm>
- [4] Seat Air Spring. In: OEM Off-highway [online]. USA: OEM Off-highway, 2013 [cit. 2017-04-18]. Dostupné z: www.oemoffhighway.com/product/11272823/contitech-air-spring-systems-seat-air-spring
- [5] Sedačka Granit mechanicky odpružená včetně statického bezpečnostního pásu. In: Zemědělské potřeby [online]. Česká republika: ---, 2016 [cit. 2017-04-18]. Dostupné z: <https://www.eshop-zemedelske-potreby.cz/sedacka-granit-mechanicky-odpruzena-vcetne-statickeho-bezpecnostniho-pasu-p15787/>
- [6] PEŠÍK, Lubomír Prof., Ing., CSc. ČÁSTI STROJŮ – 1. DÍL, Druhé vydání. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2008.
- [7] Rolling Lobe Air Springs. In: Dayton Air Suspension and Control Products [online]. USA: ---, 2014 [cit. 2017-04-18]. Dostupné z: <http://www.heightcontrolvalve.com/shopdisplayproducts.asp?id=13&cat=Goodyear+Air+Springs>
- [8] Sleeve Air Springs. In: Dayton Air Suspension and Control Products [online]. USA: ---, 2014 [cit. 2017-04-18]. Dostupné z: <http://www.heightcontrolvalve.com/shopdisplayproducts.asp?id=13&cat=Goodyear+Air+Springs>
- [9] Gummi-Luftfeder Isolator FAEBI®. In: Dayton Air Suspension and Control Products [online]. Germany: ---, 2016 [cit. 2017-04-18]. Dostupné z: www.bilz.ag/produkte/faebi-gummi-luftfedern/
- [10] Pruženie. In: Autorubrik [online]. Germany: ---, 2017 [cit. 2017-04-18]. Dostupné z: www.autorubik.sk/clanky/pruzenie-perovanie-automobilu
- [11] Silentblok B Ø 200x100. In: Fram gumové výrobky [online]. Česká republika: ---, 2017 [cit. 2017-04-18]. Dostupné z: www.rubber.cz/cs/provedeni-b-p2-sroub-matice/83-silentblok-b-o-200x100.html

- [12] Silentblok zadního tlumiče spodní. In: E-náhradní díly [online]. Česká republika: ---, 2017 [cit. 2017-04-18]. Dostupné z: www.e-nahradnidily.cz/zadni-tlumice-1/silentblok-zadniho-tlumice-spodni-original-skoda-favorit
- [13] RŮŽIČKA, Jiří. Semiaktivní a aktivní tlumení vozidel. Plzeň, 2014. Bakalářská práce. Západočeská univerzita v Plzni. Vedoucí práce Ing. Roman Čermák, Ph.D.
- [14] Tlumiče plynokapalinové [online]. Česká republika: Pátevní škola Ústeckého kraje, 2000 [cit. 2017-04-18]. Dostupné z: dumy.cz/stahnout/128767
- [15] Adjustable damper. In: ULTRA Seat [online]. USA: ULTRA Seat, 2015 [cit. 2015-04-18]. Dostupné z: www.ultraseat.com/dnlds/index.php?page=shop&action=displaypage&product_id=616&cat_id=33105
- [16] Seat damper. In: SUSPA [online]. USA: SUSPA, 2015 [cit. 2017-04-18]. Dostupné z: www.suspa.com/us/products/dampers/range/driver-seat-damper/
- [17] Tlumič odpružení jako prvek ovlivňující jízdní vlastnosti automobilu [online]. Brno, [cit. 2017-04-18]. Dostupné z: http://dl.uk.fme.vutbr.cz/zobraz_soubor.php?id=57. Dizertační práce. VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ. Vedoucí práce Doc. Ing. Ivan Mazůrek CSc.
- [18] BOSE-Shock. In: Ficient design [online]. Ficient design, 2010 [cit. 2017-04-18]. Dostupné z: www.ficientdesign.com/wp-content/uploads/2010/05/bose-shock1.jpg
- [19] Ventil regulace úrovně. In: Auto Matějček [online]. Česká republika: Auto Matějček, 2017 [cit. 2017-04-19]. Dostupné z: <http://www.automatejcek.cz/nahradni-dily/ventil-regulace-urovne-cs-305/>
- [20] Regulační ventil pérování .410. In: BVM s.r.o. Slušovice [online]. Česká republika: BVM s.r.o. Slušovice, 2017 [cit. 2017-04-19]. Dostupné z: <http://www.bvm.cz/regulacni-ventil-perovani410/d-946/>
- [21] Active suspension with offload adjustment. 2000. USA. US6371459 B1. Uděleno 5. září 2000. Zapsáno 5. září 2000.
- [22] Škrticí ventil obousměrný. In: Stránský a Petržík [online]. Česká republika: Stránský a Petržík, 2017 [cit. 2017-04-21]. Dostupné z: <http://www.stranskyapetrzik.cz/pneu/ventily/ventily-skratici/ventily-skratici-obousmerny-kostka/>
- [23] KOHL, O.: Multi Room Throttle Valve, In ŠEVČÍK, Ladislav. ICMD 2013: book of proceedings of the 54th International Conference of Machine Design Departments. Ed. 1st. Liberec: Technical University, 2013. ISBN 9788073729868.

- [24] KOHL, O.: Identification of Parameters of Stiffness and Damping Based on Amplitude Frequency Characteristics. In: DYNBYL, Vojtěch. ICMD 2014: book of proceedings of the 55th International conference of machine design departments : Beroun, Czech Republic, September 9-12, 2014. Prague: Czech Technical University, Faculty of Mechanical Engineering, 2014, s. 377-382. ISBN 978-80-01-05542-7. DOI: 978-80-01-05542-7.
- [25] PEŠÍK L., SKAROLEK A., KOHL O.: Vibration Isolation Pneumatic System with a Throttle Valve, . In: DYNBYL, Vojtěch. ICMD 2014: book of proceedings of the 55th International conference of machine design departments : Beroun, Czech Republic, September 9-12, 2014. Prague: Czech Technical University, Faculty of Mechanical Engineering, 2014, s. 69-73. ISBN 978-80-01-05542-7. DOI: 978-80-01-05542-7.
- [26] KOHL O., PEŠÍK L., SKAROLEK A.: Driver Seat Differential Pneumatic System with Air Damping, 52nd Conference on Experimental Stress Analysis, Mariánské Lázně, ISBN 978-80-261-0376-9
- [27] PEŠÍK L., SKAROLEK A., KOHL O.: Air Damping of the Driver Seat Resilient System, konference Transactions of the Universities of Košice, 2/2014, ISSN 1335-2334
- [28] KOHL, O. – PEŠÍK, L.: Evaluation of Driver's Seats Dynamic Properties. Vibroengineering PROCEDIA. Editor K. RAGULSKIS. Kaunas: JVE International, 2016. ISSN 2345-0533
- [29] KOHL, O. – PEŠÍK, L.: Drivers's Seat Assessment, MM Science Journal, v tisku
- [30] Harris, C.M., Shock and Vibration Handbook. Fifth edition. McGraw-Hill., NewYork, 2005, ISBN 0-07-137081-1
- [31] PEŠÍK, L., SKAROLEK, A.: Tuning of Vibration Isolation Differential Pneumatic System by Means of Trottle Valve. In Transactions of the Universities of Košice: Research reports from the Universities of Košice. 2nd edition. Košice: Technická univerzita v Košiciach, 2011. s. 191-196. ISSN 1335-2334.
- [32] PEŠÍK, L., SKAROLEK, A.: Heat Transfer Effects on Vibration Isolation Differential Pneumatic System. In Transactions of the Universities of Košice: Research reports from the Universities of Košice. 3rd edition. Košice :Technická univerzita v Košiciach, 2012. s. 109-114. ISSN 1335-2334.



- [33] KOHL, O.: Vzduchové tlumení pružícího podstavce sedadla řidiče, Studentská vědecká odborná činnost: Technická univerzita v Liberci - Fakulta strojní, Institut průmyslového inženýrství. V Liberci: Technická univerzita v Liberci, [200-], s. 37-45. ISBN 978-80-7494-209-9.
- [34] Dresig, H.; Holyweißig, F.: Maschinendynamik. 8. Auflage. SpringerVerlag. Berlin, 2008.
- [35] V. Zeman, Z. Hlaváč: Kmitání mechanických soustav. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni, 2010. ISBN: 978-80-7043-337-9.

Seznam publikovaných prací

2011

KOHL, Ondřej. Pružící podstavec sanitního lehátka s integrovaným tlumením, Młodzi naukowcy 2011, Uniwersitet Ekonomiczny we Wrocławiu, 2011, ISBN 978-83-62708-21-5

2012

KOHL, Ondřej. Automatic Static Position Setting Control of the Ambulance Couchette Support, ACC Journal XVIII 1/2012, ISSN 1803-9782

KOHL, Ondřej. Využití pneumatických pružin ke snížení vibrací a hluku z provozu větrných elektráren, Národní tandemová konference Konstruování - Green Engineering, ISBN 978-80-7372-937-0

2013

KOHL, O.: Multi Room Throttle Valve, In ŠEVČÍK, Ladislav. ICMD 2013: book of proceedings of the 54th International Conference of Machine Design Departments. Ed. 1st. Liberec: Technical University, 2013. ISBN 9788073729868.

2014

KOHL, O.: Identification of Parameters of Stiffness and Damping Based on Amplitude Frequency Characteristics. In: DYNBYL, Vojtěch. ICMD 2014: book of proceedings of the 55th International conference of machine design departments : Beroun, Czech Republic, September 9-12, 2014. Prague: Czech Technical University, Faculty of Mechanical Engineering, 2014, s. 377-382. ISBN 978-80-01-05542-7. DOI: 978-80-01-05542-7.

PEŠÍK L., SKAROLEK A., KOHL O.: Vibration Isolation Pneumatic System with a Throttle Valve, . In: DYNBYL, Vojtěch. ICMD 2014: book of proceedings of the 55th International conference of machine design departments : Beroun, Czech Republic, September 9-12, 2014. Prague: Czech Technical University, Faculty of Mechanical Engineering, 2014, s. 69-73. ISBN 978-80-01-05542-7. DOI: 978-80-01-05542-7.

KOHL O., PEŠÍK L., SKAROLEK A.: Driver Seat Differential Pneumatic System with Air Damping, 52nd Conference on Experimental Stress Analysis, Mariánské Lázně, ISBN 978-80-261-0376-9

PEŠÍK L., SKAROLEK A., KOHL O.: Air Damping of the Driver Seat Resilient System, conference Transactions of the Universities of Košice, 2/2014, ISSN 1335-2334

2015

PEŠÍK, L. – KOHL, O.: Elastic Supports of Pneumatic Vibration Insulation Systems, Proceedings of the conference Laboratory Methods, Ještěd, bez ISBN

PEŠÍK, L. – KOHL, O.: Vibration Insulation Support of Needle Punching machine, Proceedings of the conference Laboratory Methods, Ještěd, bez ISBN

PEŠÍK, L. – KOHL, O.: Springing Base Plate of Hydropulse Testing Equipment, 53th Conference on Experimental Stress Analysis, Český Krumlov, ISBN 978-80-01-05735-3

KOHL, O.: Vzduchové tlumení pružicího podstavce sedadla řidiče, Studentská vědecká odborná činnost: Technická univerzita v Liberci - Fakulta strojní, Institut průmyslového inženýrství. V Liberci: Technická univerzita v Liberci, [200]-, s. 37-45. ISBN 978-80-7494-209-9.

2016

PEŠÍK, L. – KOHL, O.: Impacted Object Kinematic. Applied Methods of the Analysis of Static and Dynamic Loads of Structures and Machines II, ISBN 978-80-01-05735-3.

KOHL, O. – PEŠÍK, L.: Testing Equipment Location on Springing Base Plate. Applied Methods of the Analysis of Static and Dynamic Loads of Structures and Machines II, ISBN 978-80-01-05735-3.

KOHL, O. – PEŠÍK, L.: Evaluation of Driver's Seats Dynamic Properties. Vibroengineering PROCEDIA. Editor K. RAGULSKIS. Kaunas: JVE International, 2016. ISSN 2345-0533.

2017

KOHL, O. – PEŠÍK, L.: Drivers's Seat Assessment, MM Science Journal, "v tisku"